



# **KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH**

**Arbeitsgruppe Spaltstoffflußkontrolle**

## **Entwicklung eines Kernmaterial-Sicherungs- systems für den THTR-300 Kugelhaufenreaktor**

**von**

**H. Engelhardt**

**in Zusammenarbeit mit**

**Hochtemperaturreaktorbau GmbH (HRB)**

**Hochtemperatur-Kernkraftwerk GmbH (HKG)**

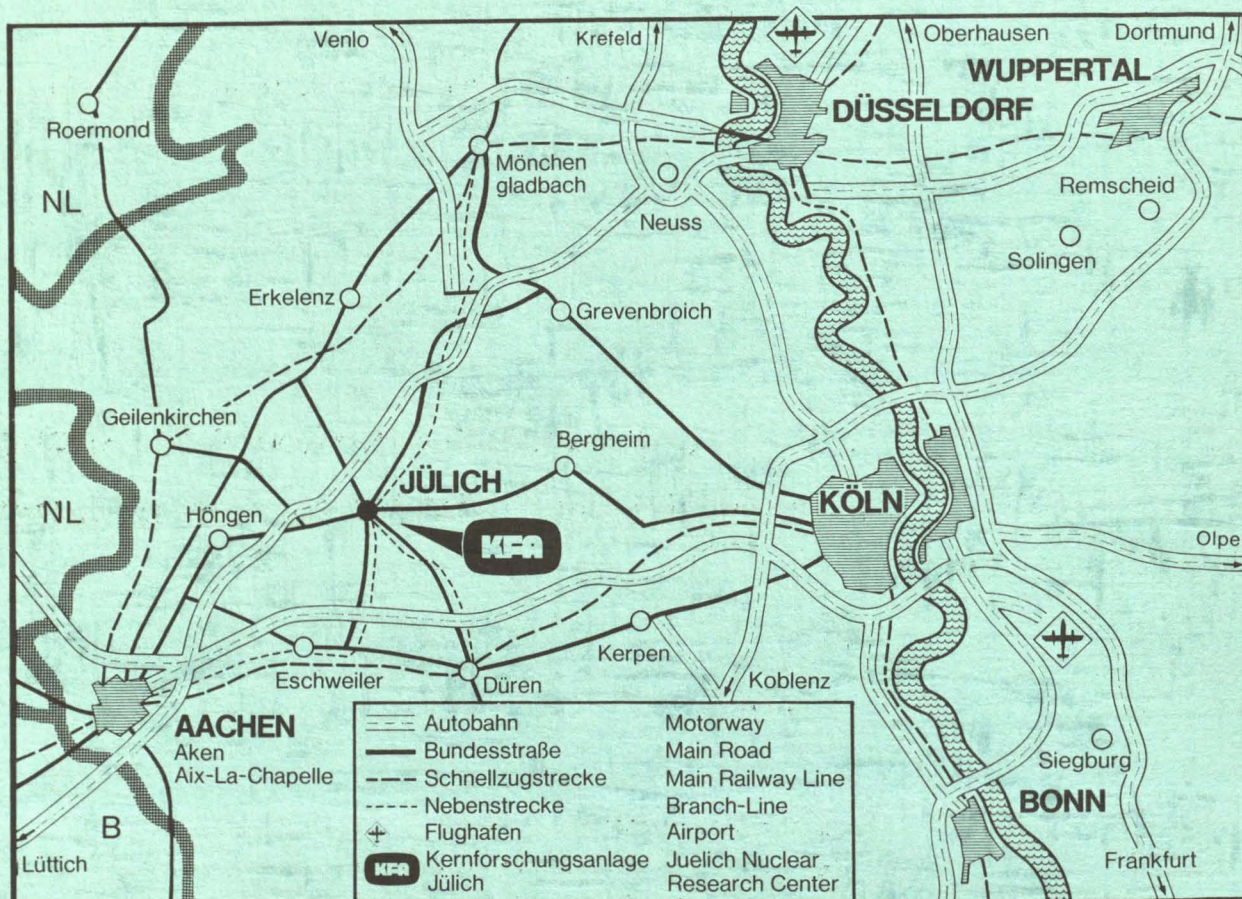
**Diese Arbeit wurde durchgeführt im Rahmen eines  
Forschungsvertrages mit der Internationalen  
Atom Energie Organisation, Wien  
Forschungs-Vertrag Nr. 1877 / RB**

**JüI - 1522**

**Mai 1978**

**ISSN 0366-0885**





Als Manuskript gedruckt

## Berichte der Kernforschungsanlage Jülich - Nr. 1522

Arbeitsgruppe Spaltstoffflußkontrolle Jül - 1522

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH,  
Jülich, Bundesrepublik Deutschland

# **Entwicklung eines Kernmaterial-Sicherungssystems für den THTR-300 Kugelhaufenreaktor**

**von**

**H. Engelhardt**

**In Zusammenarbeit mit**

**Hochtemperaturreaktorbau GmbH (HRB)**

**Hochtemperatur-Kernkraftwerk GmbH (HKG)**

**Diese Arbeit wurde durchgeführt im Rahmen eines**

**Forschungsvertrages mit der Internationalen**

**Atom Energie Organisation, Wien**

**Forschungs-Vertrag Nr. 1877 / RB**



## INHALTSÜBERSICHT

1. Einleitung / Zielsetzung
2. Beschreibung safeguardsrelevanter Details des THTR-300
  - 2.1 Allgemeine Beschreibung des Brennelement- bzw. des Elementflusses
  - 2.2 Die unterschiedlichen Elementtypen und Reaktorbetriebsphasen
    - 2.2.1 Beschreibung der Elementtypen
    - 2.2.2 Reaktorbetriebsphasen
  - 2.3 Lagerraum und Lagerbehälter für frische (Brenn-)Elemente
    - 2.3.1 Behälter
    - 2.3.2 Lagerraum
  - 2.4 Beschickungsanlage und Reaktorcore (einschliesslich Bruchkannenfüllsystem)
    - 2.4.1 Beschreibung der Beschickungsanlage (BA) und des Reaktorcores
    - 2.4.2 Bruchkannenfüllsystem
  - 2.5 Lagerraum und Lagerbehälter für abgebrannte (Brenn-)Elemente
3. Kurzbeschreibung der Funktionsweise der in Punkt 2 aufgeführten safeguardsrelevanten Komponenten (ungestörter Betrieb)
  - 3.1 Kapazität der Beschickungsanlage
  - 3.2 Funktionsweise der BA
  - 3.3 Wechsel der Kannen für abgebrannte Elemente (einschliesslich Einlagerung in das Lager und Auslagerung)

- 4.        Das Spaltstoffbilanzierungskonzept
- 4.1      Allgemeine Bemerkungen und das Spaltstoffinventar  
          der Reaktoranlage
- 4.2      Das Item-Counting-System im THTR-300
- 4.2.1    Bilanzierung und Kontrollrechnungen
- 4.2.2    Beschreibung technischer Details des  
          automatisierten Bilanzierungssystems
- 4.2.3    Zuverlässigkeit und Verfälschungssicherheit der  
          technischen Geräte des Bilanzierungssystems
- 4.2.4    Störungen in der Beschickungsanlage bzw. im  
          Bilanzierungssystem und vorgesehene Gegenmassnahmen
- 5.        Möglichkeiten zur Verbesserung der Kontrolleffizienz  
          der Kernmaterialbilanzierung im THTR-300
- 6.        Ergänzende Massnahmen zur Kernmaterialsicherung
- 6.1      Allgemeine Bemerkungen
- 6.2      Mögliche Surveillance- und Containment-Massnahmen
- 7.        Zusammenfassung

## 1. Einleitung/Zielsetzung

Für den Leichtwasserreaktor (LWR) wurde gemäss des Vertrages über die Nichtverbreitung von Kernwaffen (NPT) und Verifikationsabkommen (VA) ein Kernmaterial-Sicherungssystem entwickelt. Für bestimmte Modellanlagen (z.B. in der Bundesrepublik Deutschland für das Leichtwasserreaktor-Kernkraftwerk Stade) wurden bereits die sogenannten "Anlagenspezifischen Anhänge" ausgearbeitet und fixiert. Auf der Basis der oben genannten Verträge und gestützt auf den Vertrag zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft wird die Kernmaterialüberwachung in den Reaktoranlagen der Bundesrepublik Deutschland gemäss Euratomverordnung Nr. 3227/76 zur Anwendung der Bestimmungen der Euratom-Sicherungsmassnahmen bereits durchgeführt.

Ziel dieser Untersuchung ist es, für eine neue Reaktorlinie, den Thorium-Hochtemperaturreaktor mit kugelförmigen Brennelementen, ein entsprechendes Überwachungskonzept zu entwerfen und den internationalen Kontrollbehörden vorzustellen. Dabei soll diese Untersuchung das notwendige Basismaterial bereitstellen, das es den beteiligten Institutionen - IAEA, Euratom, Reaktorhersteller und -betreiber sowie der Kernforschungsanlage Jülich (KFA) - in iterativen Prozeßschritten ermöglicht, ein adäquates, den internationalen Safeguards-Richtlinien entsprechendes Kernmaterialüberwachungssystem für den Hochtemperaturreaktor zu implementieren.

Bei der Entwicklung der Konzeption des Sicherungssystems wurde versucht, bestehende, von den Überwachungsbehörden bereits anerkannte und erprobte Verfahren zu übernehmen, soweit es das unterschiedliche Reaktorkonzept im Vergleich zum Leichtwasserreaktor zulässt. Demnach werden die Überwachungsmassnahmen auf drei wesentlichen Elementen beruhen.

Diese bestehen aus der Materialbuchführung als Massnahme von grundlegender Bedeutung, verbunden mit der räumlichen Eingrenzung und der Beobachtung als wichtiger ergänzender Massnahme.

Das entwickelte Überwachungssystem wurde zunächst auf den in der Bundesrepublik im Bau befindlichen THTR-300 zugeschnitten, der etwa 1980 in Betrieb gehen wird. Die Konzeption ist jedoch so angelegt, dass auch andere Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktoren mit den hier vorgeschlagenen Massnahmen überwacht werden können.

## 2. Beschreibung safeguardsrelevanter Details des THTR-300

### 2.1 Allgemeine Beschreibung des Brennelement- bzw. des Elementflusses-----

Der Fluss der Brennelemente (BE) und der anderen Elementtypen (siehe auch Punkt 2.2) durch das THTR-300-Kraftwerk ist in Abb. 1 schematisch wiedergegeben.

Die Brennelemente werden in Einheiten von ca. 1.000 BE in Rollreifenfässern angeliefert und im Lager für frische BE gelagert. Nach dem Anflanschen der Fässer für frische BE an die Zugabestation der Beschickungsanlage gehen die BE aus dem Lagerbestand in das Inventar der Beschickungsanlage über. Haben die BE die Kalibriereinrichtung in dem Inspektionsstand der Zugabestation verlassen, verbleiben sie bei normalem Reaktorbetrieb bis zur Ausschleusung an der Entnahmestation in einem geschlossenen Kreislauf.

Die das Core durchlaufenden Elemente werden über einen Schrottabscheider (Wendel) geführt. Zerstörte oder beschädigte Elemente werden aussortiert und in der Schrottkanne gesammelt. Gute Elemente werden in dem Gutkugelpuffer gespeichert. Im Sammlerblock werden die Pufferleitungen der frischen und der vom Core abgezogenen Elemente zusammengeführt. Über die zentrale Rechen- und Steuereinheit wird der Sammler gesteuert. Dieser gibt einzelne Elemente in Richtung Messreaktor (SMR) frei. Der SMR unterscheidet in Brennelemente und Nicht-Brennelemente (Absorber- und Graphitelemente).

Die erhaltene Information wird an den Prozessrechner weitergeleitet. Verbrauchte Elemente werden ausgeschleust; für das Core vorgesehene Elemente werden über die vom Rechner bestimmte Förderleitung ins Core befördert.



An der Entnahmestation werden jeweils 2.100 abgebrannte Brennelemente in eine Entnahmekanne abgefüllt, verschlossen und in das Lager für abgebrannte Brennelemente transportiert. Nach einer Standzeit von etwa einem Jahr werden die BE-Kannen in Transportbehälter verladen und zu einem externen Weiterlager (Verlassen der Reaktor-MBA) transportiert.

Dieser aufgezeigte Kugelfluss bezieht sich auf die Einlaufphase und auf das Gleichgewichtscore, die in Punkt 2.2 näher beschrieben werden. Im Gegensatz dazu werden bei der Erstcorebeschickung die einzelnen Elementtypen mit einer provisorischen Beschickungsanlage dem Core zugeführt. Diese Phase, die z.Zt. für den THTR-300 noch nicht im einzelnen festliegt, kann nicht in eine weitgehend automatisierte und instrumentierte Spaltstoffüberwachung eingebunden werden. Vielmehr ist nach heutigem Kenntnisstand zweckmässig, während der Dauer dieser Phase (ungefähr drei Monate, einmalig zu Beginn des Reaktorbetriebs) eine permanente Inspektorpräsenz vorzusehen.

## 2.2 Die unterschiedlichen Elementtypen und Reaktorbetriebsphasen-----

Im THTR-Reaktorcore finden drei unterschiedliche Elementtypen Verwendung. Je nach Anteil im Reaktorcore unterscheidet man in zwei Betriebsphasen, die in 2.2.2 näher beschrieben werden.

### 2.2.1 Beschreibung der Elementtypen

Während der Einlaufphase des THTR befinden sich im Core Brennelemente (BE), Absorberelemente (AE) und Graphitelemente (GE). Diese Elemente, im weiteren auch Kugeln genannt, haben einen einheitlichen Durchmesser von 60 mm und sind von aussen nicht zu unterscheiden. Entsprechend der Spezifikation überlappen sich die Gewichtsverteilungen der einzelnen Elementtypen geringfügig, so dass sich die

frischen Elemente durch eine Wägung nicht eindeutig unterscheiden lassen. Eine eindeutige Trennung frischer Elemente ist hingegen durch Röntgendurchstrahlung möglich.

#### Brennelement (BE)

Das BE ist aus einem Kern von ca. 50 mm Durchmesser und einer den Kern umschliessenden Graphitschale von mindestens 5 mm Dicke aufgebaut. Der BE-Kern besteht aus einer Mischung von graphitischem Matrixmaterial und Brennstoffteilchen. Das Brennstoffteilchen aus Thorium-Urandioxyd-Mischkristall ist mit drei Schichten pyrolytisch abgeschiedenem Kohlenstoff umgeben. Die Graphitschale zusammen mit dem BE-Kern bestimmen die mechanische Festigkeit des BE. Das Rückhaltevermögen für radioaktive Spaltprodukte wird durch die Pyrokohlenstoffschichten der Brennstoffteilchen und den Graphit von BE-Kern und Schale erreicht. Der Uran 235-Gehalt (93 % angereichert) pro BE beträgt gemittelt über 2.000 BE (entspricht 1 BE-Los)  $0,96 \text{ g} \pm 5 \%$ . Gemittelt über ca. 10.000 BE beträgt der Uran 235-Gehalt pro BE  $0,96 \text{ g} \pm 0,5 \%$ .

Der Thoriumgehalt pro BE beträgt gemittelt über 2.000 BE (entspricht 1 BE-Los)  $10,2 \text{ g} \pm 1 \%$ . Gemittelt über ca. 10.000 BE beträgt der Thoriumgehalt  $10,2 \text{ g} \pm 0,1 \%$ . Die Kohlenstoffmenge pro BE beträgt  $192 \text{ g} \pm 2 \%$ .

Das Gesamtgewicht eines BE liegt zwischen 200,8 g und 208,0 g.

#### Absorberelement (AE)

Das AE besteht aus einem Kern von ca. 50 mm Durchmesser und einer den Kern umschliessenden Graphitschale von 5 mm Dicke. Der Kern setzt sich aus beschichteten Borpartikeln, Hafniumpulver und Graphit zusammen.

Der Hafniumgehalt beträgt für 1 AE  $4,2 \text{ g} \pm 10 \%$ , gemittelt über ein Los von ca. 2.000 AE  $4,2 \text{ g} \pm 1 \%$ .

Der Borgehalt beträgt für 1 AE  $0,03 \text{ g} \pm 10 \%$ , gemittelt über ein Los  $0,03 \text{ g} \pm 1 \%$ .

Der Kohlenstoffanteil pro AE beträgt  $192 \text{ g} \pm 2 \%$ . Das Gesamtgewicht der AE liegt zwischen 192,0 und 200,5 g.

#### Graphitelement\_(GE)

Das GE ist eine Graphitvollkugel. Das Gewicht beträgt  $190 \text{ g} \pm 2 \%$ ; dies entspricht Grenzwerten von 186,2 und 193,8 g.

#### 2.2.2 Reaktorbetriebsphasen

Nachdem die Erstcorebeladung (siehe auch Punkt 2.1) mittels einer provisorischen Beschickungsanlage erfolgt ist, kann der eigentliche Leistungsbetrieb mit kontinuierlicher und weitgehend automatisierter Kugelumwälzung beginnen. Der Erstkern enthält 359.000 BE, 277.333 GE und 37.317 AE.

Zur Beschickungsstrategie ist generell zu sagen, dass die Zufuhr- und Ausschleusraten der verschiedenen Kugeltypen an die gefahrene Reaktorleistung gekoppelt sind. Dies bedeutet, dass z.B. bei 40 % Teillast auch die täglichen Zufuhr- und Ausschleusraten auf 40 % ihrer Werte bei Vollast reduziert werden.

Während der als Einlaufphase bezeichneten Betriebszeit vom Erstcore bis zur Gleichgewichtsphase werden pro Volllasttag 621 frische BE und eine variable Anzahl von AE zugeladen. GE werden nur bei der Erstbeladung des Reaktorkerns zugegeben. Die Zugaberate der AE in der Einlaufphase hängt empfindlich vom Abbrandverhalten des Reaktorkerns ab und wird mit Beschickungsrechnungen vorausberechnet.



Die Summe der Ausschleusraten der 3 Kugeltypen muss gleich der Summe der Zugaberaten sein, damit im Tagesmittel die Zahl der Kugeln im Kern konstant bleibt. Ebenso wie die Zugaberate stellt auch die Ausschleusrate der AE in der Einlaufphase eine empfindliche Grösse für die längerfristige Reaktivitätssteuerung dar und muss daher explizit berechnet werden. Zu Beginn der Einlaufphase werden ausschliesslich GE entladen. Da andererseits keine GE zugeführt werden, verarmt der Reaktorkern immer mehr an GE, bis nicht mehr genügend GE zum Ausschleusen zur Verfügung stehen. Von diesem Zeitpunkt an werden auch BE ausgeschleust.

In den Abb. 2 und 3 sind die Zugabe- und Entnahmeraten der 3 Kugeltypen in der Einlaufphase dargestellt. Die Kurven beziehen sich auf Vollastbetrieb. Teillastperioden bewirken eine entsprechende Dehnung der Zeitskala.

Aus den genannten Zahlen für die Erstkernzusammensetzung der einzelnen Kugeltypen und der in Abb. 2 und 3 dargestellten Zugabe- und Entnahmeraten ergibt sich der in Abb. 4 dargestellte zeitliche Verlauf der Zusammensetzung des Reaktorkerns nach den verschiedenen Kugeltypen.

In der Gleichgewichtsphase gibt es keine AE oder GE mehr im Core. Pro Vollasttag werden 621 frische BE zugeladen und dafür 621 BE ausgeschieden. Die abgebrannten BE werden kontinuierlich während des Umwälzbetriebes ausgeschleust, während die 621 frischen BE als geschlossenes Paket nach Abschluss des täglichen Umwälzbetriebes zugeladen werden. Dadurch schwankt die Zahl der BE im Kern im Tagesrhythmus um 600 bis 700 Kugeln.

## 2.3 Lagerraum und Lagerbehälter für frische (Brenn-)Elemente

### 2.3.1 Behälter

Als Lagerbehälter für frische BE werden Rollreifenfässer verwendet, die doppelwandig ausgeführt sind. Der Fassverschluss besteht aus einem Deckel, der mit 10 Schrauben angeschraubt wird (Abb. 5). Zwei gegenüberliegende Schrauben sind mit je einer 6 mm Bohrung versehen, die ein Versiegeln oder Verplomben gestattet. Das Fassungsvermögen der Fässer beträgt 200 l. Dies entspricht ca. 1.000 Elementen.

Zur Unterscheidung der einzelnen Elementfässer sind die BE-Fässer gelb, die GE-Fässer schwarz und die AE-Fässer grün gespritzt. Um zusätzlich Verwechslungen an der Beschickungsanlage zu vermeiden (siehe Punkt 2.4), besitzen die GE- und AE-Fässer nur 8 Schrauben am Fassflansch, gegenüber 10 Schrauben an den BE-Fässern.

Jedes Fass ist auf dem Deckel und dem Fassmantel mit einer lfd. Nummer versehen. Die BE-Fassnummer und die Losnummer der BE-Fertigung lassen sich zuordnen. Die Anzahl der BE und die Menge spaltbaren Materials pro Fass können den Zeugnissen bzw. den Lieferscheinen entnommen werden.

### 2.3.2 Lagerraum

Der Lagertrakt besteht aus den Räumen 351, 352 und 353. Sie liegen auf + 11,5 m im Reaktorhilfsgebäude (Abb. 6). Die Grundfläche des Lagertraktes beträgt ca. 14 m x 6 m.

Der Zugang zum Lagertrakt ist über das Treppenhaus oder den Personenaufzug durch den Raum 350 in den Raum 351 möglich. Weiterhin kann das Lager vom Treppenhaus oder von einem Lastenaufzug über den Raum 353 betreten werden. Die Zugabestation in Raum 352 kann nur über die Lager Räume 351 oder 353 betreten werden.

Im Raum 353 lagern vorzugsweise BE-Behälter. Im Raum 352 ist die Zugabestation untergebracht, während im Raum 351 die Lagerung sowohl von BE- als auch von AE-Behältern vorgesehen ist. Die Räume 351 und 353 sind mit Stahlregalen ausgestattet, in denen drei Fässer übereinander gelagert werden können. Der Raum 351 hat eine Lagerkapazität von 36, der Raum 353 von 135 Fässern.

Die Eingangstüren des Lagertraktes sind als feuerbeständige Stahltüren ausgeführt. Die Türen zwischen den Räumen 351 und 352 sowie zwischen den Räumen 352 und 353 sind feuerhemmende Stahltüren.

## 2.4 Beschickungsanlage und Reaktorcore (einschliesslich Bruchkannenfüllsystem)-----

### 2.4.1 Beschreibung der Beschickungsanlage (BA) und des Reaktorcores-----

Die BA besteht aus einem verzweigten Rohrsystem, in dem die Kugeln durch Schwerkraft bzw. pneumatische Förderung ihr Bestimmungsziel erreichen. Die Blöcke stellen Rohrknotenpunkte dar, in denen sich Funktionsteile befinden. Die Funktionsteile haben die Aufgabe, die Kugeln in einzelne Rohrabschnitte zu verteilen (Weiche), zu sammeln (Sammler), vereinzelt weiterzugeben (Dosierer bzw. Drucksperrre) und die Kugeln zu zählen (Kugelfühler). Die Abb. 7 und 8 zeigen die schematische Darstellung der BA; Abb. 8 lässt zudem eine räumliche Zuordnung der wesentlichen Teile der BA wie Blöcke, Rohrleitungen und Funktionsteile erkennen. Darüberhinaus geht aus Abb. 8 hervor, welche Teile der BA unter Normaldruck und welche unter dem Druck (40 bar) stehen, auf den auch das Kühlgas Helium komprimiert wird. Dieser Tatbestand ist aus Überwachungstechnischen Gründen insofern interessant, als jedweder Eingriff in die Hochdruckteile der BA zuvor eine Druckminderung auf Normaldruck erfordert.



Aus der Abb. 8 geht ausserdem hervor, dass das Reaktorcore vollständig im Spannbetonbehälter eingeschlossen wird. Brennelementkugeln, die sich in diesem Teil der Reaktor-anlage befinden, sind selbst für den Reaktorbetreiber nicht zugänglich, das heisst, dass die Kugeln nur über die zu- oder abführenden Rohrleitungen bzw. das Bruch-kannenfüllsystem (siehe Punkt 2.4.2) abgezogen werden können. Auf das Reaktorcore ist demnach in der Untersuchung, die die safeguardsrelevanten Teile des Reaktorsystems zu beschreiben und zu analysieren hat, nicht weiter einzu-gehen.

Die Kugelzugabestation (Raum 352, Abb. 6) liegt zwischen den Lagerräumen 351 und 353 für frische BE. Die einzelnen Komponenten wie Zugabeschleuse, Sammlerblock, Schleusen-armaturen und Verteilerblock befinden sich ausserhalb des Spannbetonbehälters. Zwischen Zugabestation und Samm-lerblock liegen zwei parallele Pufferstrecken (Raum 202, Abb. 16) für je 300 Kugeln. Durch die BE-Schleuse im Raum 110 werden die Kugeln in den unter 40 bar stehenden Teil der BA überführt. Von hier führen die Pufferleitungen durch die den Spannbetonbehälter (SBB) tragende Ringmauer. Der Raum innerhalb der Ringmauer ist durch eine Zwischen-decke geteilt. Oberhalb der Zwischendecke befindet sich der nicht begehbare Beschickungsraum 121 (Abb. 14, 16), in dem die von bestrahlten Kugeln durchrollten Teile der BA (ausser Ausschleusstrecke) untergebracht sind.

Verschleissteile sind in der Zwischendecke so angeordnet, dass sie von dem begehbaren Ausbauraum 028 her gewartet und ausgewechselt werden können.

Die Kugelunterscheidungsanlage befindet sich in einem separat abgeschirmten Raum (121 b) über der Zwischendecke. Die Förderrohre sind nach dem Eintritt in den SBB aussen am thermischen Schild bis zur Höhe des Deckenreflektors verlegt und wurden hier durch den thermischen Schild zu den Einfüllpositionen geführt.

Die Entnahmestrecke ist zum grössten Teil im Entnahmekanal angeordnet. Dieser Kanal dient im Störfall der Entlüftung des Beschickungsraumes. Im Raum 020, in dem der Entnahmekanal endet, befindet sich der untere Ausschleusblock. Von hier führen die Entnahmeleitungen direkt in den Kugelentnahmeraum 023.

#### 2.4.2 Bruchkannenfüllsystem

Unter dem Kugelabzugsrohr (Abzug der Kugeln aus dem Reaktorcore, nicht gemeint ist die Entnahme aus der Beschickungsanlage) sitzt ein Kugelabzugsbehälter, an dem zwei Vereinzelter-Schrottabscheider angeflanscht sind. Umgeben wird der Kugelabzugsbehälter vom Schrottabscheideraum 121 a. Jede Vereinzelter-Schrottabscheider-einheit ist einer Schrottkanne zugeordnet. Der Schrottabscheiderraum, der unter Reaktorbetriebsdruck steht, wird durch zwei Abschirmstopfen, auf denen die Schrottkannen sitzen, abgeschlossen.

Es ist jeweils nur eine Vereinzelter-Schrottabscheidereinheit in Betrieb. Der Schrottabscheider besteht aus einer wendelförmigen Laufrinne mit trapezförmigem Querschnitt. Da die Laufrinne nach unten offen ist, fallen beschädigte Kugeln durch die Laufrinne in die Schrottkanne.

Die Schrottkanne selbst ist (einschliesslich des gasdichtschiessenden Deckels) mit den Kannen für abgebrannte Brennelemente weitestgehend identisch (siehe auch Punkt 2.5). Das Fassungsvermögen der Schrottkanne von ca. 2.000 Vollkugeln reicht aus, den während der gesamten Reaktorbetriebsdauer anfallenden Kugelschrott aufzunehmen. Da zwei Behälter vorgesehen sind, wird der Reaktorbetreiber, selbst bei der Annahme bestimmter Besonderheiten, so gut wie nie gezwungen sein, die Schrottkannen auszuwechseln. Dennoch ist ein Auswechseln technisch möglich. Damit über die lange Funktionszeit über den Kanneninhalt der Schrottkanne keine Unklarheit besteht, ist eine automatische Füllstandsmessung vorgesehen.

Zur Füllstandsmessung dient eine Meßsäule, die im Kannenboden verankert ist. Auf der Säule sind Elektroden bei  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $3/4$  und  $1/1$  der Füllhöhe angebracht. Sie lassen bei einer Graphitbrücke zwischen Elektrode und Säule den Füllstand erkennen.

Auf dem oberen Säulenende ist ein Messgeber für die Einzelerfassung von Kugeln bzw. grösserer Bruchstücke angebracht. Eine Berührung der kegelförmigen Geberkappe durch ein Bruchstück löst einen Spannungsimpuls aus, der im Rechner registriert wird. Die elektrischen Leitungen des Gebers und der Elektroden werden im Säuleninneren zum Kannenboden geführt und durch Druckglasdurchführungen weitergeleitet.

## 2.5 Lagerraum und Lagerbehälter für abgebrannte Brennelemente

Die Kanne für abgebrannte Brennelemente ist mit den Entnahmekannen für ausgeschleuste AE und GE identisch. Die Abb. 9 zeigt die Entnahmekanne, Abb. 10 den gasdichtschiessenden Deckel.

An den Kannenboden ist ein Standblech angeschweisst, das ein Stapeln im Lagerraum und exaktes Positionieren der Kanne gestattet. Der Flansch des Kannenhalses ist innen mit einer Passbohrung ( $\varnothing 225$  mm) für das Einpressen (Presskraft  $3 \times 10^5$  N) des Deckels versehen. Zum Öffnen des gasdichtschiessenden Deckels müssen ca.  $3 \times 10^4$  N aufgebracht werden.

Die Kanne ist für einen Innendruck von 4 bar und  $320^\circ\text{C}$  ausgelegt. Das Füllvolumen entspricht 2.100 Kugeln.



Das Lager für abgebrannte BE (Abb. 11) ist Teil des Reaktorbetriebsgebäudes. Über dem Lager befindet sich die Kranhalle, Raum 276. Direkt zugänglich ist nur die Kranhalle über eine Einstiegstür auf + 6,25 m. Der Zugang zu dieser Tür erfolgt über den Laufsteg in der grossen Materialschleuse.

Das Lager hat eine Grundfläche von ca. 12 m x 12,4 m. Es ist in 81 Positionen (3 Kannen übereinander) aufgeteilt, von denen 18 Positionen als 100-Tage-Lager abgetrennt sind (Abb. 11). Auf + 4,1 m ist das Lager für abgebrannte Elemente durch eine Grauguss-Stopfendecke abgedeckt.

Die Öffnung 5 dient zur Einschleusung leerer Entnahmekannen aus dem Lagerraum für leere Kannen. Diese Öffnung ist oben mit einem motorisch verfahrbaren Graugußschieber verschlossen. Vom Steuerstand (8) des Hallenkranes kann die Kranhalle über ein Abschirmfenster eingesehen werden. Durch die drei Entnahmeschächte 2, 3 und 4 werden die gefüllten und verschlossenen Entnahmekannen aus dem Kugellentnahmerraum in die Kranhalle gezogen. Schacht 1 dient zur Übergabe der Schrottkanne und von Kannen mit Kugeln, die aus Reparaturgründen der Beschickungsanlage entnommen werden mussten.

Die Öffnung zum Ausschleusen der BE-Kanne (6) bildet die Verbindung zur BE-Lagerschleuse. Sie ist im Normalbetrieb (Einlagerung von Kannen) mit Abschirmriegeln abgedeckt.

Die von der Entnahmestation angelieferten Kannen werden zuerst in eine Position des 100 Tage-Lagers gestellt. Nach einer Abklingzeit werden diese Kannen in eine Position des Restlagers umgesetzt. Für das 100 Tage-Lager sind die beiden letzten Schachtreihen, für AE, GE und sonstige radioaktive Abfälle die erste Schachtreihe, vom Steuerstand des Hallenkranes aus gesehen, vorgesehen.

3. Kurzbeschreibung der Funktionsweise der in Punkt 2  
aufgeführten safeguardsrelevanten Komponenten  
(ungestörter Betrieb)

3.1 Kapazität der BA

Die gesamte Corefüllung von 674.200 Elementen wird etwa zweimal pro Vollast-Jahr umgewälzt. Hieraus ergibt sich bei einer 7-Tage-Arbeitswoche eine tägliche Umwälzmenge von ca. 3.700 Elementen. Die Umwälzleistung beträgt danach bei 8 h-Betrieb pro Tag 500 Elemente/h. Dementsprechend muss in den Streckenabschnitten des Fallrohrsystems eine Taktzeit von 7 sec eingehalten werden.

Bei Vollastbetrieb werden 621 frische BE pro Tag zugegeben (Ergebnis corephysikalischer Berechnungen). Während der Einlaufphase kommen noch bis zu 90 frische AE hinzu.

Da die Elementzahl im Core konstant gehalten werden soll, werden pro Tag ebensoviele Elemente zugegeben wie ausgeschleust.

Die maximale Einschleusleistung beträgt 180 frische Elemente pro Stunde. Die maximale Ausschleusleistung beträgt pro Schleusenstrang (siehe Punkt 3.2) 360 Elemente pro Stunde.

Eine Zusammenstellung der (maximalen) Elementzahlen in den einzelnen Abschnitten der Beschickungsanlage einschliesslich Reaktorcore ist in der Abb. 12 vorgenommen worden.

3.2 Funktionsweise der Beschickungsanlage

Zugabe frischer Kugeln

Die frischen BE und gegebenenfalls frische AE werden in den beiden getrennten Zugabeeinrichtungen der Zugabestation dem Kreislauf zugeführt. Die Zugabevereinzelter D 1 und D 2 überführen die Kugeln einzeln in die Rohr-

leitungen. Die anschliessenden Kugelnzähler K 1 und K 2 registrieren die Gesamtzahl der zugegebenen Kugeln (Abb. 7).

In den beiden Inspektionsständen können die Kugeln vor Eintritt in den Beschickungskreislauf visuell kontrolliert werden. Hier ist eine Entnahme beschädigter oder zu grosser in der Kalibriereinrichtung hängengebliebener Kugeln möglich. Anschliessend gelangen die Kugeln an den Kugelnzählern K 3 und K 4 vorbei in die Pufferstrecken. Die Kugelnzähler dienen gleichzeitig zur Kugelnzählung und zur Füllstandsmessung in den Pufferleitungen.

Im Zugabesammlerblock B 1 werden die beiden Pufferstrecken P 1a und P 1b, die mit je einem Dosierer D 5, D 6 abgeschlossen sind, über einen Sammler zusammengefasst.

Durch die obere Einschleusarmatur gelangen die Kugeln in die Zugabeschleuse, die mit einem Kugelnzähler K 5 zur Füllstandsmessung und einem Dosierer D 7 zum Abdosieren ausgerüstet ist. In der Zugabeschleuse gelangen die Kugeln nach entsprechenden verfahrenstechnischen Schritten in die Primärgasatmosphäre. Nach erfolgtem Druckausgleich werden die Kugeln durch D 7 abdosiert und gelangen über die untere Schleusenarmatur S 2 in den Zugabeverteilerblock B 2.

Der Zugabeverteilerblock enthält zwei Weichen, um die Kugeln einem der drei Zugabepuffer (2a, 2b, 2c) zuzuführen. Die Zugabepuffer sind notwendig, um jederzeit frische BE oder AE abrufen zu können. Im Sammlerblock B 3 werden die drei Puffer für frische Kugeln wieder zusammengeführt (Abb. 7).



### Kugelabzug aus dem Core

Die Kugeln gelangen durch das Kugelabzugsrohr vom Core zur Beschickungsanlage. Das Kugelabzugsrohr wird durch zwei Vereinzelter D 11 und D 12, die mit je einem Schrottabscheider gekoppelt sind, verschlossen. Es ist jeweils nur eine Vereinzelter-Schrottabscheider-Einheit in Betrieb. Der Schrottabscheider besteht aus einer wendelförmigen Laufrinne mit trapezförmigem Querschnitt. Da die Laufrinne nach unten offen ist, fallen beschädigte Kugeln durch die Laufrinne in die Schrottkanne. Die guten Kugeln rollen entlang der Schrottabscheiderwendel in die Gutkugelleitung. Der letzte Teil der Gutkugelleitung vor dem Sammlerblock B 3 dient als Gutkugelpuffer (P 3) für max. 100 Kugeln.

Das obere Ende des Gutkugelpuffers enthält den Kugelhändler K 9, der die durchlaufenden Kugeln zählt und zur Füllstandsmessung dient. Die Füllstandsmessung soll einen Rückstau über die Pufferstrecke hinaus verhindern. Beim Erreichen des Füllstandes wird der Vereinzelter abgeschaltet. Das untere Ende des Gutkugelpuffers bildet der Dosierer D 15, der sich im Block B 3 befindet.

### Kugelverteilung

Der Sammlerblock B 3 nimmt neben dem Dosierer D 15 die Dosierer D 12, D 13 und D 14 der drei Zugabepuffer und drei Sammler auf, in die die Pufferleitungen einmünden. Der Ausgang des Sammlerblocks ist über einen Dosierer D 16 verschlossen. Dieser Dosierer lässt die Elemente taktweise zur Kugelunterscheidungsanlage rollen.

Das gesamte Fallrohrsystem ist steuerungstechnisch in Blockabschnitte aufgeteilt. In jedem Blockabschnitt, der durch Dosierer und Kugelhändler begrenzt ist, darf sich jeweils nur eine Kugel befinden. Ein Dosierer kann erst wieder betätigt werden, wenn die zuvor abdosierte Kugel den nächsten Zähler erreicht hat. Wegen der Länge der

Rollstrecke und der einzuhaltenden Taktzeit, zwischen dem Ausgangsdosierer D 16 am Sammlerblock und dem Eingangskugelnzähler K 11 am Verteilerblock, wurde diese Strecke in zwei Abschnitte unterteilt. Erst wenn ein Element die Kugelunterscheidungsanlage verlassen hat, wird von D 16 die nächste Kugel freigegeben.

In der Unterscheidungsanlage wird festgestellt, ob es sich bei dem durchlaufenden Element um ein BE, GE oder AE handelt.

Entsprechend dem vorgesehenen Beschickungsprogramm werden die Kugeln nach der Kugelunterscheidungsanlage über den Verteilerblock B 4 entweder in das Core zurückgefördert oder zur Entnahmestelle geleitet. Der Verteilerblock enthält am Eintritt den Kugelnzähler K 11 und anschliessend die Drucksperrung D 17. Die Drucksperrung arbeitet wie ein Dosierer. Sie hat die zusätzliche Aufgabe, eine durch verschiedene Druckniveaus ermöglichte Gasströmung entgegen der Kugelrollrichtung zu unterbinden.

Die nachfolgenden Weichen D 20, D 21 lenken die Kugeln entweder zu den Förderblöcken B 7, B 8 oder zum Anschlussblock B 5.

### Kugelförderung

Die Kugeln, die ins Core zurückgefördert werden sollen, gelangen vom Verteilerblock B 4 über die Kugelnzähler K 13, K 14 zu den beiden Förderblöcken B 8, B 7. Während der Betriebsphase - Kugel - Förderung - ist je nach Beschickungsprogramm entweder Förderblock B 7 oder B 8 in Betrieb. In den Förderblöcken endet das Fallrohrsystem, da hier die Förderung mit Hilfe eines Gasstromes beginnt. Auf die Dosierer D 27 bzw. D 34 am Eintritt der Förderblöcke folgen Weichen, um die Kugeln in die 15 Förderrohre leiten zu können. Durch drei Förderrohre wird die Core-Innenzone und durch 12 Förderrohre die Core-Aussenzone beschickt. An den Einströmteilen, die den Kugel-

zählern K 25 - K 39 vorgelagert sind, erfasst der Fördergasstrom die Kugeln und transportiert sie ins Core. Die Einströmöffnungen für den Fördergasstrom in das Elementtransportsystem sind so dimensioniert, dass durch diese Öffnungen keine Elemente entnommen werden können. Die Fördergasleitungen sind - was Radius bzw. Durchmesser dieser Rohrleitungen anbelangt - erheblich kleiner dimensioniert als die Rohrleitungen für den Elementtransport. Dieser Teil, der ebenfalls zur Beschickungsanlage zählt, wird hier nicht detailliert beschrieben, da er im Hinblick auf das Kernmaterialüberwachungskonzept nicht relevant ist.

#### Kugelausschleusung

Die Entnahmeleitung vom Verteilerblock B 4 teilt sich im oberen Ausschleusblock B 5 mit Hilfe von zwei Weichen D 22 und D 23 in drei Pufferstrecken auf. Die Puffer werden für die Einlaufphase zur getrennten Ausschleusung der 3 Kugeltypen benötigt. In der Gleichgewichtsphase, in der nur noch BE ausgeschleust werden, müssen 2 Puffer einsatzbereit sein.

Vom oberen Ausschleusblock gelangen die auszuschleusenden Kugeln über die Kugelnzähler K 16, K 17, K 18 in die jeweilige Entnahmeschleuse. Die Kugelnzähler quittieren jede durchgelaufene Kugel, so dass anschliessend der Verteilerblock und obere Ausschleusblock für die nächste Kugel freigegeben wird. Ausserdem dient er zur Füllstandsmessung der Entnahmeleitung.

Nachdem die Armaturen im oberen Ausschleusblock geschlossen und die entsprechenden verfahrenstechnischen Schritte (Druckentlastung) durchgeführt wurden, entleert man die Entnahmeschleuse durch den unteren Ausschleusblock B 6 in die Entnahmekannen. Der untere Ausschleusblock enthält

neben einer Armatur einen Dosierer, eine Drucksperre und einen Kugelzähler für jede Entnahmeleitung. Die Nacheinanderschaltung von Dosierer und Kugelzähler gewährleistet eine sichere Zählung und vollständige Entleerung der jeweiligen Entnahmeleitung.

### 3.3 Wechsel der Kannen für abgebrannte Elemente (einschliesslich Einlagerung in das Lager und Auslagerung)-----

#### Kannen-Wechsel

Im Kugelentnahmeraum (Raum o23, Abb. 8) sind drei Entnahmestationen vorhanden. Jede dieser Entnahmestationen wird von einem Transportwagen angefahren, der zu den drei Verbindungsschächten (Pos. 2, 3, 4 Abb. 11) zum BE-Lager für abgebrannte BE verfahrbar ist. Quer zur Fahrbahn dieses Transportwagens fährt unter den Schächten eine Kannenschliesseinrichtung, welche die gefüllten Kannen mit einem Deckel verschliesst. Ist keine Kanne an der Entnahmestation angeschlossen, wird das Entnahmerohr durch einen Deckel gasdicht verschlossen.

Eine leere Entnahmekanne wird durch einen der drei Schächte in den Kugelentnahmeraum eingebracht. Die Kanne wird auf den Transportwagen gesetzt, der Greifer von der Kanne gelöst und hochgefahren. Anschliessend wird die Schachtöffnung mit einem Deckel verschlossen. Mit dem Transportwagen wird die Kanne zur Entnahmestation gefahren, bis eine Greifervorrichtung den Kannenhals umfasst und den Verschlussdeckel des Entnahmerohres zur Seite schwenkt. Die Greifervorrichtung hebt dann die Kanne vom Transportwagen ab und presst die Dichtfläche des Kannenkopfes gegen den Flansch der Entnahmeleitung. Die Kanne schliesst somit das BE-Entnahmerohr gegen die Aussenatmosphäre ab.

Kanne und Entnahmerohr werden evakuiert und mit Helium mit einem Druck von 1 bis 2 bar gefüllt. Nach dem Einfüllen der BE in die Kanne regelt sich der Druck in der Entnahmeleitung auf 1 bar und die Greifervorrichtung setzt die Kanne wieder auf den Transportwagen ab, wobei die Entnahmeleitung wieder durch den Verschlussdeckel abgeschlossen wird. Danach wird der Transportwagen unter den Zugabeschacht zurückgefahren. Die Schließstation wird nun mit einem aus dem Magazin entnommenen Deckel über die Kanne gefahren. Die Greifbügel der Schliess-einrichtung umfassen den Kannenhals. Die Kanne wird vom Transportwagen abgehoben und gegen den am Deckelhalter hängenden Deckel gepresst. Anschliessend wird der Behälter auf den Transportwagen zurückgestellt. Die Schliess-einrichtung fährt in die Ruheposition über dem Deckel-magazin zurück. Nach Entfernen der Schachtabdeckung wird die verschlossene Kanne vom Hallenkran ins Lager für abgebrannte BE gebracht.

#### Einlagerung von Kannen mit abgebrannten Elementen

Vom Kran in der Halle über dem Lager für abgebrannte BE wird der Stopfen einer Position des 100-Tage-Lagers abgehoben und seitlich auf dem Hallenboden abgesetzt. Danach fährt der Kran zu dem Entnahmeschacht (Abb. 11, Pos. 2, 3, 4), in dem die einzulagernde Kanne steht, hebt dort einen Stopfen ab und setzt ihn ebenfalls seitlich vom Schacht ab. Jetzt wird der Greifer in den Kugelentnahmeraum 023 abgelassen, bis er die verschlossene Kanne umfasst. Die Kanne wird in die Kranhalle gezogen, zur geöffneten Lagerposition gefahren und darin abgesetzt. Danach wird die Position mit dem Stopfen verschlossen. Der Kran fährt zur Einschleusöffnung (Abb. 11, Pos. 5) für leere BE-Kannen. Durch die zwischenzeitlich elektromotorisch geöffnete Schleusenöffnung wird der Greifer in das Lager für leere Kannen abgelassen. Eine leere Kanne wird aufgenommen, in die Kranhalle gezogen, zu dem vorge-

sehenen Entnahmeschacht verfahren und in den Kugelentnahmeraum abgesenkt. Die Einschleusöffnung für leere Kannen und der Entnahmeschacht werden anschliessend verschlossen. Das beschriebene Verfahren läuft ca. alle drei Tage einmal ab.

Die Umlagerung vom 100-Tage-Lager ins Restlager erfolgt nach entsprechendem Verfahren. Die erste Umlagerung erfolgt nach ca. 110 Tagen und dann etwa alle 10 Tage einmal.

#### Auslagerung von Kannen mit abgebrannten Elementen

Ist das Lager für abgebrannte Elemente gefüllt bzw. muss für die Einlagerung weiterer Kannen mit abgebrannten Elementen Lagerraum freigemacht werden, muss eine Auslagerung in ein Zwischenlager (oder Endlager) erfolgen. Die Kapazität des Lagers für abgebrannte Elemente ist in den Punkten 2.5 und 4.1 angegeben. Vor dem Ausschleusvorgang wird von der Brennelement-Lagerschleuse (Raum 173, Tab. 1) ein Transportbehälter von unten gegen die Ausschleusöffnung (Abb. 11, Position 6) gefahren und strahlensicher mit der Schleusendecke verbunden. Die Abschirmriegel der Ausschleusöffnung werden vom Kran abgehoben und auf der Schleusendecke abgelegt. Nach dem Öffnen des Transportbehälters werden die BE-Kannen mit dem Kran aus den geöffneten Lager-Positionen entnommen, zur Ausschleusöffnung transportiert und in den Transportbehälter abgesetzt. Nach dem Füllen des Transportbehälters werden die Lagerpositionen wieder mit den Abschirmstopfen und die Ausschleusöffnung mit den Gussriegeln verschlossen.



#### 4. Das Spaltstoffbilanzierungskonzept

##### 4.1 Allgemeine Bemerkungen und das Spaltstoffinventar der Reaktoranlage-----

Den in den Punkten 2 und 3 beschriebenen kugelhaufen-HTR-spezifischen Besonderheiten

- grosse Anzahl einzelner, nicht identifizierbarer Elemente,
- unterschiedliche Elementtypen,
- quasi-kontinuierliche Zugabe und Entnahme der Einzelelemente

muss das Bilanzierungskonzept Rechnung tragen.

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, dass das Kernmaterial an keiner Stelle in der Reaktoranlage in kleinerer Einheit als im kugelförmigen Brennelement vorkommt. Diese Tatsache legt es nahe, das BE als ein Item zu definieren und zu bilanzieren. Mit anderen Worten: Wenn eine Bilanzierung auf der Basis einer Kugelzählung den Nachweis erbringen kann, dass keine BE-Kugel einem anderen Verwendungszweck als dem angegebenen zugeführt worden ist, ist gleichzeitig der Nachweis erbracht, dass kein spaltbares Material abgezweigt worden ist. Diese Definition verhindert nicht, dass an bestimmten Stellen in der Kernkraftanlage eine Bilanzierung in einer höher aggregierten Form (z.B. BE-Kanne, BE-Fass) vorgenommen werden kann, wenn eine Identitäts- und Integritätskontrolle sicherstellen kann, dass die Behältnisse eindeutig bestimmbar sind und die Unversehrtheit eindeutig nachgeprüft werden kann. Das Spaltstoffinventar der Behältnisse beträgt dann ein ganzzahlig Vielfaches des Iteminventars.

Sowohl für den Betreiber als auch für die Kontrollbehörde hat die Bilanzierung in einer höher aggregierten Form Vorteile; für den Betreiber bei seiner Bestandsaufnahme, für die Behörde bei einer Bestandsüberprüfung. Es wird

daher vorgeschlagen, eine Bilanzierung auf der Basis von ganzzahlig Vielfachem der Iteminventare überall dort vorzunehmen, wo es das Reaktorkonzept zulässt. Dies ist sowohl im Lager für frische als auch im Lager für abgebrannte Elemente der Fall. Gemäss den Ausführungen in Punkt 2.3 und 2.5 lässt sich im Lager für frische Elemente die Bilanzierung über ein BE-Fass ( $\hat{=}$  1.000 Elemente) bzw. im Lager für abgebrannte Elemente die Bilanzierung über eine BE-Kanne ( $\hat{=}$  2.100 Elemente) durchführen.

Der Kernmaterialgehalt des Fasses bzw. der Kanne wird dann als Charge bilanziert. Der Kernmaterialgehalt der Charge beträgt gemäss Ausführungen in Punkt 2.2 pro Fass ungefähr 1.000 g U-235 und ungefähr 10 kg Thorium, bzw. pro Kanne ungefähr 670 g U-235-Äquivalent. Folgende Gleichung liegt der Definition U-235-Äquivalent zugrunde:

$$\text{U-235}_{\text{äq}} = 1,12 \cdot (\text{Pa-233} + \text{U-233}) + \text{U-235}.$$

Das Pa-233 wird hierbei als Kernmaterial behandelt, da es mit relativ kurzer Halbwertszeit (einige Tage) in das spaltbare Material U-233 über einen  $\beta$ -Übergang übergeht. Die obige Angabe bezüglich des Kernmaterialgehalts (fissiles Material) der Kanne bezieht sich auf eine Kannenfüllung mit Elementen aus dem Gleichgewichtskern. Für diese Elemente beträgt der durchschnittliche  $\text{U-235}_{\text{äq}}$ -Anteil etwa 0,32 g. Der Thoriumgehalt dieses Elements beträgt ungefähr 9,5 g, der Gehalt pro Kanne demnach durchschnittlich 19,95 kg (2.100 Elemente  $\cdot$  9,5 g).

Eine messtechnische Bestimmung des Kernmaterial im Rahmen der Aufnahme des physikalischen Bestandes (bzw. der Verifikation desselben) kann in der Reaktoranlage entfallen, wenn eine eindeutige Identifizierungsmöglichkeit und eine Möglichkeit zur Feststellung der Unversehrtheit der Fässer als auch der Kannen im Zusammenhang mit dem

Kernmaterialüberwachungssystem geschaffen werden kann (siehe Punkt 6.2). In diesem Falle wird die Bilanzierung und die Physikalische Inventaraufnahme in den beiden Lagern auf der Basis "Chargen-Counting" vorgenommen. Dennoch erscheint es nützlich, neben den Angaben über die Kapazität der Lager in den Einheiten Fass- bzw. Kannenzahl die Kapazität in der Dimension kg Kernmaterial anzugeben. Für das Lager für frische Elemente ergibt sich gemäss obigen Ausführungen und gemäss Punkt 2.3 folgender maximaler Inhalt:

Kapazität Raum Nr. 351:	36 Fässer
Kapazität Raum Nr. 353:	135 Fässer
	<hr/>
	171 Fässer
	=====

Damit errechnet sich das maximale Kernmaterialinventar zu 171 kg U-233 und 1.710 kg Thorium für das Lager für frische Elemente. Da jedoch Raum Nr. 351 im Normalfall auch mit Fässern anderer Elementtypen beschickt wird, liegt (zumindest in der Einlaufphase) das Kernmaterialinventar im Lager unterhalb der angegebenen Werte.

Für das Lager für abgebrannte Elemente ergibt sich das maximale Lagerinventar zu:

81 Positionen zu drei Kannen  $\hat{=}$  243 Kannen;  
demnach  $243 \cdot 0,67 \approx 163$  kg U-235<sub>äq</sub> bzw. 4.848 kg Thorium.  
Auch diese Angaben beziehen sich auf eine Füllung des Lagers mit Elementen aus der Gleichgewichtsphase (Abb. 13 und 14).

Die Bilanzierung des Coreteils der Reaktoranlage einschliesslich der Beschickungsanlage basiert auf der Elementzählung. Um zu überschlägigen Aussagen zum Spaltstoffinventar dieses Teils der Kernkraftanlage zu gelangen, müssen

Elementzahl, Elementtyp und der Spaltstoffanteil pro Element als Funktion des Abbrandes bekannt sein. Über die Elementzusammensetzung des Cores gibt Abb. 4 als Funktion der Betriebsdauer Auskunft. Die Abb. 15 zeigt den Mittleren Schwermetallgehalt pro Brennelement im Reaktorkern als Funktion der Standzeit der Elemente im Reaktor (Vollast). Korreliert man die Ergebnisse aus Abb. 15 mit den Ergebnissen aus Abb. 4, gelangt man zum Schwermetallgehalt des Reaktorkerns in Abhängigkeit der Reaktorbetriebsdauer (Vollast) bis zur Gleichgewichtsphase (Abb. 16). Demnach beträgt das Spaltstoffinventar des Cores ungefähr 350 kg  $U_{\text{äq}}$ . Aus Abb. 16 geht auch der ausserordentlich geringe Anteil des Plutoniuminventars im THTR-300 hervor; für die Gleichgewichtsphase beträgt die Pu-239-Menge im Core 0,5 kg und die Pu-241-Menge 0,2 kg.

#### 4.2 Das Item-Counting-System im THTR-300

Für den Coreteil der Reaktoranlage und die Beschickungsanlage wird die Bilanzierung des Materials auf der Basis von Elementzählungen vorgeschlagen. Die Brennelementcharge (1 Fass frischer BE zu 1.000 Elementen) wird in der Zugabestation (z.B. Abb. 8) aufgelöst und in "Einzel-Items" umgewandelt. Dieser Vorgang wiederholt sich bei Vollast der Anlage etwa alle 1 1/2 Tage. Nach der Zugabestation übernehmen automatische Kugelnähler und -registriergeräte die Kugelnählung und ein Prozessrechner (PR) die Bilanzierung. Die Gründe, diese Einrichtungen der Kugelnählung und Bilanzierung, die der Betreiber für seine Beschickungsstrategie (kurz- und langfristige Reaktivitätssteuerung) benötigt, auch für die Zwecke der Kernmaterialsicherung zu benutzen, liegen in der sehr weitgehenden Redundanz der Zähleinrichtungen, der hohen Verfälschungssicherheit des Gesamtsystems und der hohen Zuverlässigkeit aller Komponenten, wie im folgenden zu zeigen ist.

#### 4.2.1 Bilanzierung und Kontrollrechnungen

In der schematischen Darstellung der Beschickungsanlage (Abb. 17) sind sämtliche Kugelzählstellen (Anzahl und Lokalisation) wiedergegeben. Aus dieser Abbildung geht hervor, dass die Elemente nicht lediglich in der Zugabestation und der Abfüllstation gezählt werden, sondern dass innerhalb der Beschickungsanlage weitere Zählstellen existieren, die eine Flussverfolgung der Elemente durch die BA gestatten. Insgesamt sind 36 Brücken-Kugelfühler (Beschreibung Punkt 4.2.2) ausserhalb des Spannbetonbehälters für die Steuerung der BA installiert. Benutzt man alle 36 Zählgeräte auch für die Elementbilanzierung im Rahmen des Spaltstofffluss-Kontrollsystems, ist eine ausserordentlich hohe Redundanz des instrumentierten Bilanzierungssystems gegeben, das durch die Möglichkeiten der zahlreichen Kontrollrechnungen und Bilanzierungen über willkürlich herausgegriffene Teilsysteme nahezu verfälschungssicher arbeitet. Im folgenden soll gezeigt werden, dass der Elementinhalt in der BA mit Hilfe des instrumentierten Bilanzierungssystems eindeutig bestimmt werden kann, wobei die Zahl der in der BA befindlichen Elemente über drei verschiedene Zählgerätegruppen bestimmt wird. Das Ergebnis ist dann immer gleich, wenn die Zählgeräte und das System einwandfrei arbeiten und kein Element abgezweigt wurde.

Bestimmung der Elementzahl in der BA mit Hilfe von K 13, K 14 und K 9 (in einem willkürlich herausgegriffenen Bilanzraum I)

$$I_{BRI} = ZK_{13} + ZK_{14} - ZK_9 \quad (1)$$

Es bedeuten:

$I_{BRx}$  = Anzahl von Elementen im Bilanzraum x

$ZK_x$  = Zählerstände der Elementzählstelle x  
(akkumulierter Zählerstand)

Bestimmung der Elementzahl in der BA mit Hilfe von  $K_{25}$  bis  $K_{39}$  sowie  $K_6$ ,  $K_7$ ,  $K_8$  und  $K_{10}$  (in einem willkürlich herausgegriffenen Bilanzraum II)

$$I_{BRII} = \sum_{n=25}^{39} ZK_n - (ZK_{10} - ZK_7 - ZK_8 - ZK_9) \quad (2)$$

Wurde kein Element einem anderen als dem angegebenen Zweck zugeführt, muss gelten:  $I_{BRI} = I_{BRII}$ .

Beweise  $I_{BRI} = I_{BRII}$

Es muss gelten:

$$\sum_{n=25}^{39} ZK_n = ZK_{13} + ZK_{14} \quad (3)$$

$$ZK_{10} = ZK_6 + ZK_7 + ZK_8 + ZK_9 \quad (4)$$

bzw.

$$ZK_9 = ZK_{10} - (ZK_6 + ZK_7 + ZK_8) \quad (5)$$

aus (4)

$$I_{BRII} = ZK_{13} + ZK_{14} - ZK_9 \quad (3) \text{ und } (5) \text{ in } (2)$$

$$I_{BRII} = I_{BRI} \quad \text{q.e.d.}$$

Durch dieses Rechenbeispiel wird gezeigt, dass die Bilanzgleichungen, die mit unterschiedlichen Zählgerätegruppen erstellt werden können, zu gleichem Ergebnis führen müssen.



Ein weiteres Beispiel, dass die Zählgerätegruppen der Zugabe- und Abfüllstation einschliessen, sei ebenfalls angeführt:

$$I_{BRII} = ZK_1 + ZK_2 - (ZK_{22} + ZK_{23} + ZK_{24}) \quad (6)$$

Auch hier muss im Falle der Nichtabzweigung gelten:

$$I_{BR,III} = I_{BR,I} \quad (7)$$

Also:

$$ZK_{13} + ZK_{14} - ZK_9 = ZK_1 + ZK_2 - (ZK_{22} + ZK_{23} + ZK_{24}) \quad (8)$$

Im folgenden wird Gleichung (8) durch Benutzen von Operationen mit Hilfe der Zählerstände bewiesen:

$$ZK_1 = ZK_3 \quad (9)$$

$$ZK_2 = ZK_4 \quad (10)$$

$$ZK_5 = ZK_3 + ZK_4 \quad (11)$$

$$ZK_5 = ZK_1 + ZK_2 \quad (12)$$

aus: (9), (10) in (11)

$$ZK_5 = ZK_6 + ZK_7 + ZK_8 \quad (13)$$

$$ZK_9 = ZK_{10} - (ZK_6 + ZK_7 + ZK_8) \quad (5)$$

$$ZK_9 = ZK_{10} - ZK_5 \quad (14)$$

aus: (13) in (5)

$$ZK_9 = ZK_{10} - (ZK_1 + ZK_2) \quad (15)$$

aus: (12) in (14)

Es muss weiter gelten:

$$ZK_{15} = ZK_{16} + ZK_{17} + ZK_{18} \quad (16)$$

$$ZK_{16} = ZK_{22} \quad (17)$$

$$ZK_{17} = ZK_{23} \quad (18)$$

$$ZK_{18} = ZK_{24} \quad (19)$$

$$ZK_{15} = ZK_{22} + ZK_{23} + ZK_{24} \quad (20)$$

aus: (17), (18), (19) in (16)

$$ZK_{10} = ZK_{11} \quad (21)$$

$$ZK_{11} = ZK_{13} + ZK_{14} + ZK_{15} \quad (22)$$

$$ZK_{10} = ZK_{13} + ZK_{14} + ZK_{15} \quad (23)$$

aus: (21) in (22)

$$ZK_{13} + ZK_{14} - [ZK_{10} - (ZK_1 + ZK_2)] = \\ ZK_1 + ZK_2 - (ZK_{22} + ZK_{23} + ZK_{24}) \quad (24)$$

aus: (15) in (8)

$$ZK_{13} + ZK_{14} - [ZK_{13} + ZK_{14} + ZK_{15} - (ZK_1 + ZK_2)] = \\ ZK_1 + ZK_2 - (ZK_{22} + ZK_{23} + ZK_{24}) \quad (25)$$

aus: (23) in (24)

$$ZK_1 + ZK_2 - ZK_{15} = ZK_1 + ZK_2 - (ZK_{22} + ZK_{23} + ZK_{24}) \quad (26)$$

aus: (25)

$$ZK_1 + ZK_2 - (ZK_{22} + ZK_{23} + ZK_{24}) = \\ ZK_1 + ZK_2 - (ZK_{22} + ZK_{23} + ZK_{24}) \quad (27)$$

aus: (20) in (26)

Es kann gezeigt werden, dass mit Hilfe unterschiedlicher Zählgerätegruppen jeweils gleiche Elementinventare über fiktive, willkürliche Bilanzräume ermittelt werden können. Die aufgeführten Beispiele sollen zeigen, wie sehr ineinander vermascht die Zählerstände der einzelnen Zählgeräte sind, so dass es von daher nahezu unmöglich erscheint, ein Element aus dem Fluss durch die BA unbemerkt zu entfernen. Insgesamt sind mit diesen installierten Zählgeräten eine beliebig grosse Zahl von Bilanz-Kontrollrechnungen über willkürlich herauszugreifende Bilanzräume möglich, so dass von daher neben der guten Kontrolleffizienz auch eine ausserordentlich hohe Redundanz des Systems resultiert. Über technische Möglichkeiten (Zusatz-einrichtungen), die die Verfälschungssicherheit des Gesamtsystems noch weiter erhöhen, gibt Kap. 6 Auskunft. Abschließend soll erwähnt werden, dass zur Kernmaterial-sicherung nicht notwendigerweise alle betrieblich notwendigen Zählgeräte herangezogen werden müssen. Auch eine Auswahl der den Kontrollzwecken dienenden Zählgeräte, die die Behörden vornehmen können, wird eine insgesamt befriedigende Aussage der Nichtabzweigung gestatten.

Wie bereits in Punkt 2.2 beschrieben, werden in dem als Einlaufphase bezeichneten Leistungsbetrieb neben den Brennelementen auch andere Elementtypen umgewälzt. Das bedeutet, dass die oben beschriebene Bilanzierung mit Hilfe der Kugelzählgeräte zumindest in der Einlaufphase keine Kernmaterialbilanzierung darstellt. Von den Kugelzählstellen werden alle Elementtypen erfasst und registriert. Unter der Prämisse einer bestimmten Entwendungsstrategie des Reaktorbetreibers, nämlich dass an irgendeiner Stelle der Beschickungsanlage Brennelemente entfernt und in gleicher Anzahl Graphitelemente zugegeben werden, wird diese Massnahme durch das bisher beschriebene Bilanzierungssystem nicht aufgedeckt. Will man, ohne zunächst die flankierenden Kontrollverfahren (siehe Punkt 6) heranzuziehen, auch diese Strategie durch Bilanzierung abdecken, muss das

Bilanzierungssystem erweitert werden. In Punkt 2.4.1 wurde dargelegt, dass bereits in der Zugabestation eine Trennung bzw. Unterscheidung in Brennelementkugeln und Nicht-Brennelementkugeln vorgenommen wird, da der Betreiber die Reaktivitätssteuerung des Reaktors nur bei Kenntnis des zugegebenen Kugeltyps vornehmen kann. Für die Bilanzierung bedeutet das, dass entweder die Kugelhählgruppen K<sub>1</sub>/K<sub>3</sub> oder K<sub>2</sub>/K<sub>4</sub> ausschliesslich zugegebene BE registrieren. Wie bereits in Punkt 2.3.1 erwähnt, unterscheiden sich die BE-Fässer von den Nicht-BE-Fässern am Fassflansch, so dass Verwechslungen beim Einfüllen vermieden werden. Damit ist es möglich, die beschriebene Bilanzierung bzw. die Kontrollrechnungen getrennt für BE und Nicht-BE durchzuführen. Darüberhinaus ist zwischen K<sub>10</sub> und K<sub>11</sub> eine Kugelunterscheidungsanlage installiert, die einen falsch eingegebenen Kugeltyp erkennt. Wird von der Unterscheidungsanlage dem PR ein nicht erwarteter Kugeltyp aus dem Puffer 2 a, b oder c für frische Kugeln gemeldet (Abb. 12), so bleibt die Funktionsgruppe O6 (FG O6; in dieser sind die Funktions-teile des Blocks 4 zusammengefasst) stehen, da für die betroffene Kugel keine Adresse bereitsteht, und es wird eine Störmeldung ausgegeben. Damit ist auch die Kugeltypunterscheidung redundant ausgelegt und die getrennte Bilanzierung von BE-Kugeln und Nicht-BE-Kugeln nahezu verfälschungssicher möglich.

Das beschriebene Bilanzierungssystem auf der Basis "Item-Counting" ist demnach nicht nur in der Lage, die Kugelelemente zu zählen und zu bilanzieren, sondern diese Bilanz auch getrennt für die einzelnen Elementtypen vorzunehmen.

#### 4.2.2 Beschreibung technischer Details des automatisierten Bilanzierungssystems-----

Alle in Punkt 4.2.1 beschriebenen Zählstellen sind mit sogenannten Brücken-Kugelfühlern bestückt.

Der Aufnehmer des Brücken-Kugelfühlers (Abb. 18) besteht aus einem zylindrischen Gehäuse, in dem sich ein Keramik-

rohr mit zwei hintereinander liegenden Spulen befindet. Dieser Aufnehmer ist in ein Funktionsteil eingebaut, das in die Blöcke der BA eingesetzt wird. Bei Störungen kann das ganze Funktionsteil ausgewechselt werden.

Das Blockschaltbild Abb. 19 zeigt den grundsätzlichen Aufbau eines Messortes. Zur Erfassung der Laufrichtung und einer ruhenden Kugel sind zwei Messkanäle vorhanden, die zeitlich nacheinander eine Kugel erkennen. Beide Kanäle werden über einen gemeinsamen Logikteil miteinander zu den gewünschten Ausgängen verknüpft.

Der Aufnehmer am Messort enthält hintereinander je eine Spule pro Kanal als Kugelsensoren. Die Spulen sind nach aussen und gegeneinander bestmöglich abgeschirmt, so dass die umgebenden Materialien die Spulen nur noch vernachlässigbar beeinflussen. Die restliche Kopplung der Spulen miteinander ist konstant und damit kompensierbar.

Über drei einadrige abgeschirmte Leitungen werden die Spulen gemäss Abb. 20 mit den übrigen Zweigen der Messbrücken im Auswerter verbunden. Die Brücken werden symmetrisch eingespeist; ihre Diagonalepunkte befinden sich nahezu auf Nullpotential, so dass Kabelkapazitäten den Abgleich praktisch nicht beeinflussen.

Mit dieser Anordnung ergeben sich in Abhängigkeit vom spezifischen Widerstand und vom Durchmesser der Kugel Nutzsignale von ca. 2 % bis über 5 % der Brückenspeisung  $U_S$  mit einem Phasenunterschied bis zu ca.  $30^\circ$ el zwischen gut und schlecht leitender Kugel. Amplitude und Phase des Signals der Messbrücke werden so verarbeitet, dass das auszuwertende analoge Kugelsignal  $U_K$  in dem vorgegebenen Bereich nahezu unabhängig vom spezifischen Widerstand der Kugel wird. Obwohl der Einflussbereich eines Sensors grösser als ein Kugeldurchmesser ist, so dass sich die Signale von unmittelbar aufeinanderfolgenden Kugeln überlappen, wird eine sichere Trennung der

Kugeln mit einer sicheren Bestimmung der Richtung erreicht. Abb. 21 zeigt die Umformung der Meßsignale bei einer Kolonne aus zwei gut leitenden Kugeln. Abb. 21 a bzw. 21 b zeigen die Amplitude bzw. die Phase der Verstimmung der Messbrücke in Abhängigkeit von der Lage der Kugeln relativ zum Sensor. In Abb. 21 c ist die gleichgerichtete und gesiebte Ausgangsspannung  $U_K$  des Analogteiles (Blockschema Abb. 19) dargestellt. Die relativ geringe Änderung der Phase zwischen den Kugeln genügt, um die Talspannungen der analogen Kugelsignale  $U_K$  soweit absinken zu lassen, dass die Kugeln sicher getrennt werden können. Die vom Brücken-Kugelfühler abgegebene Information, Kugel vorwärts, Kugel rückwärts und Kugelstillstand werden der Prozessrechenanlage und der FG-Steuerungsebene zugeleitet.

Neben der Aufgabe des Prozessrechners, die aufgenommenen Informationen für die Steuerung der Beschickungsanlage zu verwenden, werden bestimmte, wichtige Daten über den Kugelfluss innerhalb der BA täglich ausgedruckt.

Der Rechnerausdruck über den Kugelfluss umfasst im wesentlichen folgende Informationen:

1. Anzahl der im Core befindlichen Kugeln (BE, AE, GE)
2. Anzahl der täglich zugeführten frischen Kugeln (BE, AE) <sup>1)</sup>
3. Anzahl der täglich ausgeschiedenen Kugeln (BE, AE, GE) mit Altersspektrum der BE
4. Anzahl der täglich rückgeführten Kugeln nach Beschickungsrohren <sup>1)</sup>
5. Zahl der pro Tag umgewälzten Kugeln und die Abweichung vom Sollwert



## 6. Aufgetretene Störungen

## 7. Nachweis über korrigierte Zählerstände

1) und die Summe seit Betriebsbeginn.

### 4.2.3 Zuverlässigkeit und Verfälschungssicherheit der technischen Geräte des Bilanzierungssystems

Aus den Ausführungen über den technischen Aufbau der verwendeten Instrumentierung (Sensoren und Auswerteeinheit) kann aufgrund des einfachen Aufbaus bereits auf eine gewisse Zuverlässigkeit und Funktionssicherheit der Geräte geschlossen werden. Die nun folgende Kurzbeschreibung der Funktionsweise des elektronischen Auswerteteils (Abb. 19) macht diese Aussage deutlicher; darüberhinaus wird aus der Beschreibung der Signalverarbeitung und der Überwachungslogik ersichtlich, dass ein weitgehender Schutz gegenüber einer missbräuchlichen Verwendung der Instrumentierung systemimmanent ist.

Zur Verdeutlichung der Funktionsweise des elektronischen Auswerteteils sind folgende standardisierte Ausgangssignale zu unterscheiden:

- Zählimpulse entsprechender Richtung pro Kugel
- Meldung des Stillstands einer Kugel
- Meldung der Betriebsbereitschaft des Kugelfühlers.

Jede Kugel wird beim Durchlauf durch den Aufnehmer des Kugelfühlers nacheinander von 2 Sensoren erfasst. Das Ausgangssignal des Analogteils von jedem Sensor wird durch Vergleich mit 2 Nutzsignalschwellen ( $S_1 < S_2$ ) und 2 Überwachungsschwellen ( $\ddot{U}_1 < S_1 < S_2 < \ddot{U}_2$ ) wie folgt verarbeitet bzw. überwacht:

- Eine Spannung grösser als die untere Schwelle  $S_1$  bedeutet, dass sich mindestens eine Kugel im Erfassungsbereich des Sensors befindet.
- Eine Spannung grösser als die obere Schwelle  $S_2$  bedeutet, dass sich mit Sicherheit nur eine Kugel im Erfassungsbereich des Sensors befindet. Bei Kugelkolonnen wird das Ausgangssignal jedes Sensors zwischen den Kugeln unter diese Schwelle sinken.
- Eine Spannung unterhalb bzw. oberhalb der Überwachungsschwelle  $\ddot{U}_1$  bzw.  $\ddot{U}_2$  bedeutet den Ausfall eines Bauelements oder der Spannungsversorgung im Analogteil.

Ein Zählimpuls für eine Kugel wird beim Sinken der Ausgangsspannung des Sensors 2 unter die Schwelle  $S_2$  (Kugel verlässt Aufnehmer) nur ausgegeben, wenn vorher die Schwelle  $S_1$  im Kanal 1 oder im Kanal 2 und nacheinander die Schwellen  $S_2$  in beiden Kanälen überschritten worden sind.

Das Stillstandsignal wird immer ausgegeben, sobald das Ausgangssignal einer Sonde länger als 1 s oberhalb  $S_1$  liegt.

Durch die 2 Nutzsingnale- und die 2 Überwachungsschwellen je Kanal bestehen mehrere Möglichkeiten zur Erfassung von Gerätefehlern und äusseren Störungen. Die Überwachungslogik meldet die Funktionsfähigkeit des Kugelfühlers im einzelnen bei folgenden Störungen:

- Ausfall der Spannungsversorgung
- Versagen des Analogteils z.B. durch Unterbrechen oder Kurzschliessen von Leitungen zum Aufnehmer, Ausfall von Bauelementen oder der Spannungsversorgung.  
In diesem Fall wird entweder die untere Überwachungsschwelle  $\ddot{U}_1$  unter- oder die obere Überwachungsschwelle  $\ddot{U}_2$  überschritten.

- Versagen des Logikteils derart, dass ein Zählimpuls ausgegeben wird, obwohl keine Kugel den Aufnehmer durchlaufen hat.  
In diesem Fall meldet der Überwachungsteil die Störung, da ihm vom Analogteil kein Signal oberhalb der Nutzsignalschwelle geliefert wurde.
- Versagen des Logikteils derart, dass kein Zählimpuls ausgegeben wird, obwohl eine Kugel den Aufnehmer durchlaufen hat.  
In diesem Fall wird die Störung gemeldet, da der Überwachungsteil ein Nutzsignal vom Analogteil erhalten hat und damit einen Zählimpuls vom Logikteil erwartet.

Die Beschreibung der Signalverarbeitung und der Überwachungslogik lässt erkennen, dass nicht ohne grossen Aufwand Zählerstände durch Aufgabe falscher Signale manipuliert werden können. Darüberhinaus ist dazu zu sagen, dass die Manipulation einzelner Zählerstellen durch das Zählsystem erkannt wird, da ja die Kugeln in den einzelnen Funktionsgruppen auf ihrem Weg durch die Beschickungsanlage jeweils durch mehrere unabhängige Kugelfühler registriert werden. Die ohnehin schwierige Manipulation am Einzelgerät müsste, um unerkannt durchgeführt werden zu können, an zahlreichen weiteren Geräten vorgenommen und darüberhinaus synchronisiert werden. Das komplizierte Ineinandergreifen der einzelnen Zählimpulse im Bilanzierungssystem stellt demnach einen ausreichenden Selbstschutz vor missbräuchlicher Manipulation dar.

Fehler oder Störungen (bzw. missbräuchliche Manipulation) in den Endstufen (Zählschalter) der Ausgangssignale vom Logikteil (Abb. 19) werden vom Gerät selbst nicht erkannt. Die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Endstufe (10 Bauelemente) wird mit  $1 \cdot 10^{-2}$  pro Jahr abgeschätzt. Über eine Möglichkeit der Verhinderung der missbräuchlichen Verwendung der Zählschalter wird in Punkt 5 Stellung genommen.

Zum Bilanzierungssystem im Rahmen der Spaltstoffflusskontrolle gehört gemäss 4.2.1 auch die Kugelunterscheidungsanlage. Es wird erwartet, dass die Wahrscheinlichkeit für eine unerkannte Verwechslung des Kugeltyps durch die Unterscheidungsanlage deutlich unter  $1 \cdot 10^{-4}$  pro Messung liegt.

#### 4.2.4 Störungen in der Beschickungsanlage bzw. im Bilanzierungssystem und vorgesehene Gegenmassnahmen-----

Die für das Kernmaterialsicherungskonzept wichtigste Feststellung bei Störungen innerhalb des Bilanzierungssystems ist die, dass der Reaktorbetreiber ohne einen einwandfreien Überblick über seine Beschickungsstrategie die Beschickung des Reaktors sofort unterbrechen wird. Diese Massnahme bedeutet nicht das Abschalten des Leistungsbetriebes des Kraftwerkes, vielmehr kann der Reaktor bei langwierigen Störungen innerhalb des Bilanzierungssystems der Beschickungsanlage bis etwa 40 Tage ohne Beschickungsbetrieb gefahren werden. Eine Forderung der Kontrollbehörde, bei Ausfall eines für die Bilanzierung wichtigen Funktionsteils (z.B. einer Kugelzählstelle) nicht weiter zu beschicken, könnte demnach vom Reaktorbetreiber leicht erfüllt werden bzw. ist von diesem ohnehin vorgesehen. Welche Komponenten können ausgewechselt werden?

Auszuwechseln bzw. zu reparieren sind alle Funktionsteile, Schnellschlussventile, Schleusenarmaturen und Reparaturarmaturen. Bei den Vereinzelter-Schrottabscheidereinheiten werden nur die Lager bzw. die Balgdichtungen (Dichtung von Raum 121 a zu Raum 028) ausgewechselt. Ebenso können Rohrleitungen ausserhalb des SBB ersetzt werden. Blöcke sind nicht auswechselbar.

Auszuwechselnde Verschleissteile sind für einjährigen störungsfreien Betrieb ausgelegt. Dies bedeutet für:

- Weichen, Dosierer, Drucksperrn                      ca.  $1,4 \times 10^6$  Betätigungen
- Schleusenarmaturen              ca.  $1 \times 10^4$  Betätigungen

Die übrigen Verschleissteile werden in den Reaktor-Abschaltpausen im 4-Jahreszyklus gewartet. Dies bedeutet für:

- Reparaturen und Schnellschlussventile      ca.  $2 \times 10^3$  Betätigungen
- Lager der Vereinzelter-Schrottabscheidereinheit      ca.  $8 \times 10^6$  Kugeln

Bezüglich der räumlichen Randbedingungen für die verschiedenen Reparatur- und Wartungsarbeiten muss unterschieden werden (Abb. 7, 8):

- Reparaturen im drucklosen Teil der BA:  
Zwischen Zugabestation und geschlossenen Schleusenarmaturen S1/S2 sowie zwischen S3/8, 4/7, 5/6 und Entnahmestation können Arbeiten durchgeführt werden, ohne den Druck der BA zu entlasten.
- Reparaturen im druckführenden Teil (40 bar) der BA:  
Bei Arbeiten zwischen bzw. an den Schleusenarmaturen und den Schnellschlussventilen (S10 bis S27) müssen die Reparaturventile (S9 bis S28) und Schnellschlussventile geschlossen und das Rohrsystem druckentlastet werden.
- Reparaturen an Teilen der BA, die sich zwischen den Schnellschlussventilen und dem Core befinden:  
Für Arbeiten an den Reparaturventilen, Schnellschlussventilen, den Vereinzelter-Schrottabscheidereinheiten und dem Schrottkannensystem ist der Reaktor abzuschalten

Diese Angaben sind für das Sicherungskonzept insofern relevant, da bestimmte Reparaturarbeiten nicht für den Inspektor unerkannt durchgeführt werden können, wenn beispielsweise die Drucküberwachung Bestandteil des Kernmaterial-Sicherungskonzeptes wird. Da diese Massnahme keine Bilanzierungsmassnahme, sondern eine Art Containmentmassnahme darstellt, soll sie in diesem Kapitel nicht weiter behandelt werden.

Da der Ausbau eines Funktionsteils (z.B. Kugelzählstelle) für das Bilanzierungssystem bzw. für die Verifikation der Bilanzierung von ausserordentlicher Bedeutung ist, soll dieser Vorgang ausführlicher beschrieben werden.

Da die äusseren Abmessungen aller FT und Ventile gleich sind, wurde ihre Wartung und Reparatur wesentlich vereinfacht. Je nach Reparaturzone muss die BA drucklos gefahren, von Kugeln befreit und mit Gas gespült werden. Für den Ausbau der Teile werden eine Ausbauglocke und ein Adapter verwendet (Abb. 22). An die Ausbauglocke ist ein Staubsauger angeschlossen, der eventuell anfallenden Graphitstaub absaugt.

Die Ausbauglocke mit Adapter wird mit einem Hubstapler an das auszuwechselnde FT angesetzt. Mit einem speziellen Werkzeug wird das FT gelöst und in die Ausbauglocke gezogen. Das neue FT, das sich bereits in der Ausbauglocke befindet, wird eingesetzt und verriegelt.

Stehen an dem FT nicht abdosierbare Kugeln an, so müssen sie vor dem FT-Wechsel entfernt werden. Dafür wird das FT, das sich vor den anstehenden Kugeln befindet, mit der Ausbauglocke entfernt und durch ein Spezialteil ersetzt. Von dem Spezialteil (Abb. 22) führt ein flexibler Schlauch über die Absaugvorrichtung auf der Ausbauglocke zu einem Staubsauger. Die an dem auszubauenden FT anstehenden Kugeln werden abgesaugt und in eine Entnahmekanne überführt. Ein Kugelzähler ist in der Absaugvorrichtung noch

nicht vorgesehen. Sind die Kugeln entfernt, wird das Spezialteil gegen das ursprüngliche FT ausgewechselt. Nun kann das defekte FT ausgebaut werden.

Die Ausbauglocke mit der eingesetzten Entnahmekanne wird zur Übergabeposition (Abb. 11, Pos. 1) gefahren. Hier wird die Entnahmekanne mit einem Deckel vorläufig verschlossen. Der Hallenkran transportiert anschliessend die Entnahmekanne in das Lager für abgebrannte BE. Da die Kanne nach einer Kugelentnahme im allgemeinen nicht gefüllt ist, wird sie nochmals verwendet. Sind ca. 2.000 BE in der Entnahmekanne, so wird sie in die Entnahmestation transportiert, wo in der Schließstation ein Deckel eingepresst wird. Anschliessend wird die Kanne in das Lager für abgebrannte BE zurückbefördert.

Vor der reparaturbedingten Kugelentnahme kann die zu entnehmende Kugel über die Zählerstände bzw. den PR ermittelt werden. Vor dem Weiterbetrieb der BA müssen die von der Entnahme betroffenen Zählerstände korrigiert werden. Wie in Punkt 4.2.2 ausgeführt, werden die korrigierten Zählerstände vom PR festgehalten und täglich mit anderen wichtigen Daten zur Bilanzierung ausgedruckt.

Wie anfangs dieses Kapitels ausgeführt, wird bei Ausfall einer wichtigen Teilkomponente der Beschickungsanlage oder des Bilanzierungssystems die Beschickung unterbrochen. Welche Bedingungen bzw. welche Betriebszustände führen zum automatischen Stillstand der Beschickungsanlage? Dies sind u.a. (nur zum Bilanzierungssystem gehörende Komponenten):

- Drehende Funktionsteile haben ihre angewählte Position nicht eingenommen: Alle drehenden Funktionsteile besitzen für jede Stellung Endschalter. Defekte Schalter werden bei der Überprüfung der Funktionsteilstellung bemerkt, da die Schaltzustände bei beiden Endschaltern nicht gleich sein dürfen.



- Brückenkugelfühler und Auswerter nicht betriebsbereit:  
Alle für die vorgegebene Betriebsart der FG nötigen Kugelfühler müssen betriebsbereit sein.
- Rollzeit und Weichenschaltzeit überschritten:  
Für Dosierer und Rollstrecken, die quittiert werden müssen, ist ein Zeitintervall für die Quittierung vorgegeben. Ebenso ist für die Weichenstellung der Kugelrollstrecken eine Zeit vorgegeben. Werden diese Zeiten überschritten, so werden Störmeldungen ausgegeben.
- Die Kugelunterscheidungsanlage erkennt andere Elementtypen als der Prozessrechner erwartet (siehe Punkt 4.2.1).
- Der Anteil der unbestimmten Kugeln durch die Kugelunterscheidungsanlage ist grösser als 10 von  $10^5$  Kugeln.

Aufgrund von Störungen an der Unterscheidungsanlage kann der Fall auftreten, dass der Elementtyp einer den SMR durchlaufenden Kugel nicht erkannt werden kann. Diese, als unbestimmte Kugeln bezeichneten Elemente werden in die BE-Entnahmekanne geschleust und im PR registriert. Bei den 100.000 gemessenen Kugeln dürfen aus heutiger Sicht höchstens 10 unbestimmte Kugeln auftreten. Sind 10 unbestimmte Kugeln registriert, bevor 100.000 Kugeln den SMR passiert haben, soll die FG 05 automatisch abgeschaltet und der SMR überprüft werden. Haben 100.000 Kugeln den SMR durchrollt und ist die Zahl der unbestimmten Kugeln  $\leq 10$ , so wird die Registrierung der unbestimmten Kugeln wieder bei Null begonnen. In jedem Fall wird die Kugelzahl der die Unterscheidungsanlage durchrollenden und der unbestimmten Elemente ausgedruckt.

- Der Prozessrechner fällt aus:  
Da alle Daten und Informationen im PR registriert werden, ist ein Rechnerausfall je nach Art der Störung von unterschiedlicher Bedeutung. Solange am Kernspeicher keine Störungen auftreten (versehentliches Überspielen oder

Löschen), kann nach Behebung der Störung die BA ohne Komplikationen weitergefahren werden. Wird der Kernspeicher in Mitleidenschaft gezogen, können alle Informationen zum Zeitpunkt der letzten Speicherung (1 Abspeicherung pro Tag) verloren gehen. Für die Kugeln vor dem Block B4 und den Blöcken B 7 oder B 8 wird dadurch die Adresse ihres Bestimmungsortes gelöscht. Um in diesem Fall die Auswirkungen unkontrollierter Beschickung so klein wie möglich zu halten, werden die Kugeln vor B 4 in die für BE vorgesehene Ausschleusstrecke geleitet. Die Kugeln vor B 7 oder B 8 werden in das Innencore gefördert. Diese Massnahmen können anhand der entsprechenden Kugelzählstellen verifiziert werden (Punkt 4.2.1).

Da der Stop der Beschickung bei den oben genannten Bedingungen automatisch erfolgt, kann die Kontrollbehörde davon ausgehen, dass nur bei Funktionieren aller zum Bilanzierungssystem gehörenden Komponenten die Beschickung vorgenommen wird.

5. Möglichkeiten zur Verbesserung der Kontrolleffizienz der Kernmaterial-Bilanzierung

Das in Punkt 4. beschriebene Bilanzierungs-Konzept im Rahmen der Kernmaterialsicherung bedarf keiner Änderung des "Hard-Ware"-Reaktorkonzeptes. Es konnte darüber hinaus auch gezeigt werden, dass eine Kernmaterialbilanzierung zuverlässig und nahezu verfälschungssicher vorgenommen werden kann. Ohne zunächst an die sogenannten "flankierenden Massnahmen" im Zusammenhang mit der Kernmaterialsicherung zu denken, die in Punkt 6 beschrieben werden, bestehen Möglichkeiten, die Kontrolleffizienz der Kernmaterial-Bilanzierung zu verbessern.

Diese im folgenden zu beschreibenden Möglichkeiten erfordern jedoch geringfügige Änderungen des zur Zeit existierenden "Lay out" der Beschickungsanlage, so dass auf sie nur zurückgegriffen werden soll, wenn die Kontrollbehörden dieses ausdrücklich wünschen.

Werden alle in Punkt 4.2.1 genannten 36 Brücken-Kugelfühler auch für die Elementzählung im Rahmen der Spaltstoffflusskontrolle benutzt, um eine ausserordentlich hohe Redundanz des instrumentierten Bilanzierungssystems zu erreichen, wird es notwendig, dass alle Registriergeräte akkumulierte Zählerstände aufweisen. Zur Zeit ist dies nicht für alle Zählerstände vorgesehen. Dies soll an Hand eines Beispiels verdeutlicht werden.

Nach dem Anflanschen eines Fasses für frische Elemente an die Zugabestation der Beschickungsanlage passieren die Kugeln nach einem Vereinzeln die Kugelmählerstelle K1. Hat eine Kugel die Mählerstelle durchlaufen, wird der Mählerstand um 1 erhöht. Nach der Kalibriereinrichtung passiert dieselbe Kugel die Mählerstelle K3. Dort wird nun ebenfalls der Mählerstand um 1 erhöht, aber gleichzeitig der Mählerstand von K1 um 1 erniedrigt. Das heisst, K1 weist nicht den akkumulierten Mählerstand aller die Mählerstelle durchlaufenden Kugeln aus, sondern dient zur Überprüfung der eingegebenen Kugelmahl des Fassinhaltes laut

Lieferschein. Damit ist die Zählstelle K1 nicht ohne weiteres in dem Sinne, wie in Punkt 4 beschrieben, zur Kernmaterial-Bilanzierung im Rahmen der Spaltstoffflusskontrolle zu verwenden. Ähnliches gilt für andere Zählstellen, die zur Bilanzierung von Teilsystemen innerhalb der Beschickungsanlage (z.B. in Pufferstrecken) für den reibungslosen Beschickungsbetrieb notwendig sind. Um nun die Anforderungen der Kernmaterial-Bilanzierung erfüllen zu können, müssen geringfügige Modifikationen in der Signalverarbeitung vorgenommen werden, und zwar sollten die gewonnenen Zählimpulse für die betrieblichen Belange einerseits und die Kontrollbelange andererseits genutzt werden, d.h. es wird vorgeschlagen, die Zählimpulse parallel zwei getrennten Auswerteeinheiten mit Zählerstandregistrierung zuzuführen. Die Zählerstandregistrierung im Rahmen des Spaltstoffflusskontrollsystems muss dann akkumulierte Zählerstände aller die Zählstelle durchlaufenden Elemente ausweisen.

Dieser Vorschlag führt automatisch zu einem weiteren, der bei Befolgung ebenfalls in der Lage wäre, die Glaubwürdigkeit der Bilanzierung zu erhöhen. Der Vorschlag bezieht sich ebenfalls auf eine Modifikation der Impulsverarbeitung der Elementzähleinrichtungen. Die komplette Zähleinrichtung besteht aus Aufnehmer und der Auswerteeinheit, wobei die letztere wiederum unterteilt werden kann in den Analogteil und den Logikteil mit seiner Endstufe (Zählerstandregistrierung), (Abb. 19).

Die Verfälschungssicherheit des Zählerstandes einer Zähleinrichtung kann erhöht werden, indem die Auswerteeinheit der Kugelfühlsignale für jede Zählstelle, die auch für Spaltstoffflusskontrollzwecke eingesetzt werden soll, doppelt ausgeführt wird. Aus Abb. 19, die das Prinzipschaltbild einer Zähleinrichtung wiedergibt, kann entnommen werden, dass eine redundante Auslegung in unterschiedlicher Weise vorgenommen werden kann, wobei jeweils der Grad der Vergrößerung der Verfälschungssicherheit unterschiedlich ist:

- redundante Auslegung der gesamten Auswerteeinheit
- redundante Auslegung des Logikteils
- redundante Auslegung der Endstufe.

Der ausschliesslich Kontrollzwecken dienende Teil der Zähleinrichtung kann in einem (versiegelten) Schrank untergebracht werden, der nur Inspektoren zugänglich gemacht ist. Das Prinzipschaltbild dieses Vorschlags ist aus Abb. 23 ersichtlich.

Die grössere Verfälschungssicherheit dieser Signalverarbeitung besteht nun darin, dass im ungestörten Beschickungsbetrieb zwei parallele Zählerstandregistrierungen einer Kugelzählstelle existieren, wobei Manipulationen in der (zugänglichen) Elektronik der Auswerteeinheit erkannt werden können. Die bei dieser Schaltung grössere Sicherheit bei Störungen der Auswerteeinheiten des Betreibers (Ausfallwahrscheinlichkeit s. Punkt 4.2.3) bedarf keiner besonderen Erwähnung.

Ein dritter Vorschlag zur Verbesserung der Kontrolleffizienz betrifft die Kugelabsaugvorrichtung (Abb. 22), die - wie in Punkt 4.2.4 beschrieben - die möglicherweise vor einem auszuwechselnden Funktionsteil anstehenden Elemente in eine Entnahmekanne absaugt. Da im augenblicklichen Planungsstadium eine Kugelzähleinrichtung nicht vorgesehen ist, wird diese zur Verbesserung der Kontrolleffizienz gefordert. Da nämlich auch die Kugelzählstellen der Beschickungsanlage zu den auswechselbaren Funktionsteilen gehören, müssen bei Störungen der Aufnehmer die vor einem auszuwechselnden Gerät anstehenden und abzusaugenden Elemente mit der Hand quittiert werden. Die Handquittiertasten sind zwar mit einem Schlüsselschalter vor Missbrauch durch Dritte gesichert, jedoch kann eine ausreichende Kontrolle gemäss der Zielsetzung des NPT nur durch eine weitere zu installierende Zähleinrichtung in der Absaugvorrichtung erreicht werden.

Ein letzter Vorschlag in diesem Zusammenhang fordert nicht - wie bei den vorgenannten - "hardwaremässige" Änderungen des Reaktorkonzeptes, sondern eine bestimmte Verfahrensweise.

Gemäss den Ausführungen in Punkt 2 enthält das Reaktorkern in der Gleichgewichtsphase neben den Brennelementen keine anderen Elementtypen. Auch werden ausschliesslich Brennelemente zugegeben. Auch für diese Betriebsphase wäre zu fordern, die Kugelunterscheidung im Rahmen der Kernmaterialsicherung weiterzuführen, um eine bestimmte Abzweigstrategie von Brennelementen aufzudecken. Wie in Punkt 4.2.1 und 4.2.4 ausgeführt, erfolgt eine Störmeldung mit automatischem Stillstand der Beschickungsanlage, wenn die Kugelunterscheidungsanlage einen anderen Kugeltyp erkennt als der Prozessrechner erwartet. Wird die Abzweigstrategie verfolgt, an bestimmten Stellen der BA Brennelemente zu entfernen und Graphitelemente zuzuschleusen - und damit die Bilanzierung auf der Basis der Elementzählung nicht zu beeinflussen -, wird diese Strategie durch den Einsatz einer Kugelunterscheidungsanlage aufgedeckt. Es ist daher zu fordern, die Kugelunterscheidung in das Kernmaterialsicherungssystem einzubauen, die damit - wie das Sicherungssystem selbst - für die gesamte Lebensdauer des Kraftwerks Anwendung finden soll, unabhängig von der rein betrieblichen Notwendigkeit.

## 6. Ergänzende Massnahmen zur Kernmaterialsicherung

### 6.1 Allgemeine Bemerkungen

Gemäss Artikel 29 des Verifikationsabkommens wird zur Erreichung des in Artikel 28 festgelegten Zieles der Sicherungsmassnahme die Materialbuchführung als Massnahme von grundlegender Bedeutung angesehen, verbunden mit der räumlichen Eingrenzung und der Beobachtung als wichtigen ergänzenden Massnahmen.

Anders formuliert bedeutet das, dass dort, wo die Materialbilanzierung bzw. die Materialbuchführung nicht allein oder nicht genügend den Nachweis der Nichtabzweigung erbringen kann, die ergänzenden Massnahmen in das Sicherungskonzept für eine nukleartechnische Anlage einzubauen sind.

Die Stellen innerhalb einer Anlage, an denen Versiegelungs- und Beobachtungsmassnahmen angewendet werden, bilden zusammen mit den "Schlüsselmesspunkten" (Punkte des Bilanzierungssystems, an denen Kernmaterialbestandsänderungen festgestellt bzw. gemessen werden und die Aufnahme und Prüfung des realen Bestandes erfolgt) die sogenannten "strategischen punkte", die in den "Anlagenspezifischen Anhängen" der "Ergänzenden Abmachungen" festgelegt werden. Für den Anlagenbetreiber ist Art und Umfang der Festlegung der ergänzenden Sicherungsmassnahmen von weitreichender Bedeutung, da sie

- den Inspektionsaufwand verringern können und damit eine Reduzierung der Betriebsbeeinträchtigung während der Inspektion bedeuten;
- eine grössere Glaubwürdigkeit der Nichtabzweigung erbringen können an den Stellen im System, an denen die Materialbuchführung nicht ausreichend erscheint bzw. redundante Auslegung des Sicherungskonzeptes bedeuten, wo sie zusätzlich zur Materialbuchführung eingesetzt werden.

Insgesamt können demnach die ergänzenden Massnahmen eine Möglichkeit darstellen, das Sicherungskonzept "dichter" zu machen.

Die Festlegung zusätzlicher "strategischer Punkte" hat für den Anlagenbetreiber aber auch die Konsequenz, dass er den Inspektoren nur zu den in den "Ergänzenden Abmachungen" festgelegten "strategischen Punkten" Zugang einräumen muss (Artikel 76 des VA) und damit die Gefahr des "Know-How-Abflusses" an diesen Stellen besonders gross ist. Nicht zuletzt wegen dieser Problematik werden die Anlagenbetreiber bei der Festlegung der "Ergänzenden Abmachungen" gehört.

Der Entwurf eines Sicherungskonzeptes kann demnach lediglich Vorschläge für derartige Massnahmen unterbreiten bzw. die Punkte im Anlagensystem aufzeigen, an denen Surveillance- und Containment-Massnahmen sinnvoll bzw. notwendig erscheinen.

## 6.2 Mögliche Containment- und Surveillance-Massnahmen

Unter dem Begriff der "Massnahmen der räumlichen Einschliessung" im Zusammenhang mit dem Sicherungskonzept wird zweierlei verstanden:

- die Einbeziehung der vorhandenen baulichen "dichten" Umschliessungen des Kernmaterials in das Überwachungssystem;
- das Einsetzen von Siegeln und anderen kennzeichnenden und Verfälschungen anzeigenden Vorrichtungen an betrieblich notwendigen Öffnungen räumlicher Eingrenzungen.

Der letztgenannte Punkt zeigt die Grenze der Einsatzmöglichkeit der Containment-Massnahme auf: sie ist nur dort sinnvoll, wo der betriebliche Ablauf keinen häufigen Zugang und Zugriff zu den versiegelten Räumen, Behältnissen und anderen Ausrüstungsgegenständen (Messanordnungen, Registriereinrichtungen, ...) verlangt.



Im THTR-300-Kraftwerk bietet sich eine Containment-Massnahme der oben genannten ersten Kategorie besonders an, nämlich den Spannbetonbehälter als eine dichte Umschliessung in das Sicherungssystem einzubeziehen. Aus Abb. 8 wird deutlich, dass nur über die Kugelförderrohre - ausgehend von den Förderblöcken B 7 und B 8 - das Core beschickt und nur über das Kugelabzugsrohr zum Raum Nr. 121 a entladen werden kann. Es ist durch die vorhandene bauliche Anordnung sichergestellt, dass weder der Reaktorbetreiber noch ein Unbefugter Zugriff zum Coreinventar hat. Nur über das Kugelabzugsrohr lässt sich spaltbares Material dem Reaktorcore entnehmen, wobei diese Massnahme durch die Kugelzähleinrichtung K 9, aber auch mit Hilfe der Zähleinrichtungen K6, K7, K8 und K10 durch die Bilanzierungsmöglichkeit

$$K9 = K10 - (K6 + K7 + K8)$$

erfaßt wird.

Der Spannbetonbehälter bietet demnach eine ausgezeichnete bauliche "dichte" Umschliessung für das gesamte Coreinventar.

Innerhalb der bedingt begehbaren Teile der Beschickungsanlage bieten sich Containment-Massnahmen der zweiten Kategorie an. Alle weiteren Vorschläge für diese flankierenden Massnahmen sind Vorschläge dieser Kategorie, da alle anderen Systemteile und Grosskomponenten des Kraftwerkes aus betrieblichen Gründen (Reparatur, Wartung) Zugriff und Zugang verlangen.

Wie in Punkt 4.2.4 beschrieben, lassen sich alle Funktionsteile innerhalb der Blöcke B1 bis B8 auswechseln. An diesen Stellen ist demnach Zugriff innerhalb der Beschickungsanlage im (möglicherweise auch vorgetäuschten) Reparaturfall gegeben. Eine Entwendung von Kernmaterial bei einer

solchen (herbeigeführten) Gelegenheit wird durch die Kernmaterial-Bilanzierung aufgedeckt (Punkt 4.2.1). Eine darüber hinaus vorzusehende Massnahme hat demnach "flankierenden" Charakter und erhöht die Sicherheit der Aussage einer Nichtabzweigung. Es besteht die Möglichkeit, alle ausbaubaren Funktionsteile, die mit Schraubverbindungen in den Blöcken gehalten werden, mit Siegeln zu versehen, wobei es genügen würde, eine Schraubverbindung eines FT zu versiegeln. Die Kontrollbehörde würde damit Gelegenheit erhalten, bei der Reparatur-Massnahme anwesend zu sein, falls sie dies wünscht. Für den Betreiber ergäbe sich daraus eine gewisse Beeinträchtigung, nämlich nicht allein über den Zeitpunkt einer Reparatur-Massnahme entscheiden zu können. Eine grössere Betriebsbeeinträchtigung entstünde dadurch jedoch nicht, da der Leistungsbetrieb des Kraftwerkes durch eine kurzfristige Beschickungsunterbrechung nicht beeinflusst wird (Punkt 4.2.4).

Ein gewisses Problem bildet die Vielzahl der Funktionsteile (Dosierer, Weichen, Drucksperrren, Vereinzelter, Zählstellen, ...) und damit die Vielzahl der anzubringen- den und zu kontrollierenden Siegel. Etwa 80 solcher Funktionsteile bzw. jeweils eine Schraubverbindung eines Funktionsteils müssten versiegelt werden. Technische Probleme der Versiegelung der Funktionsteile existieren jedoch nicht.

Es besteht auch die Möglichkeit, ganze Blöcke (Träger mehrerer Funktionsteile) zu versiegeln. Dazu müsste eine Hilfskonstruktion entwickelt werden, die aus einem starken Drahtgitter besteht, das auf die Blöcke von der Seite, zu der die FT ausbaubar sind, aufgeschraubt werden könnte. Der Gitterabstand sollte so klein sein, dass der Ausbau der FT oder das Entwenden von Brennelementkugeln ohne Entfernen des Gitters unmöglich ist, bzw. so gross sein, dass gewisse Wartungsarbeiten an dem FT (Schmieren, Kontrollieren) möglich bleiben.

Kann die Versiegelungsmethode technisch realisiert werden, reduziert sich die Anzahl der notwendigen Siegel für die gesamte Beschickungsanlage auf acht Stück.

Werden die beschriebenen Möglichkeiten in das Kernmaterial-Sicherungssystem übernommen, kann das Gesamtsystem, das damit aus Bilanzierung und den flankierenden Massnahmen besteht, für den Coreteil sowie für die Beschickungsanlage als absolut "dicht" bezeichnet werden.

Neben der Bilanzierung können im Lager für frische Elemente ebenfalls Containmentmassnahmen vorgesehen werden. Es wird vorgeschlagen, die Fässer für frische Brennelemente beim Brennelement-Hersteller zu versiegeln, die Fässer im Eingangslager des Kraftwerks versiegelt zu lagern (Punkt 2.3.1) und erst unmittelbar vor dem Anflanschen an die Zugabestation die Siegel zu brechen. Diese Massnahme bringt nicht nur Vorteile für den Kraftwerksbetreiber, dass nämlich die periodische physikalische Bestandsaufnahme im Lager für frische Elemente in einfacher Weise den Nachweis der Nichtabzweigung erbringt, sie ist auch vorteilhaft im Hinblick auf das Gesamtsystem. Die frischen Elemente sind (zumindest in der grösseren Einheit "Brennelementfass") ab Ausgang der Brennelementfabrikation auf dem Transport bis zur Kraftwerksanlage eindeutig identifizierbar.

Auch für die Kannen für abgebrannte Brennelemente sollte aus den genannten Gründen eine Containmentmassnahme, flankierend zur Bilanzierung im Lager für abgebrannte Brennelemente, zur Anwendung kommen. Containmentmassnahmen für das Lager selbst wären wegen der Vielzahl der betrieblich notwendigen Öffnungen des Lagers (Abb. 11) und der Vielzahl der notwendigen Kernmaterialbewegungen durch diese Öffnungen (Punkt 3.3) nicht sinnvoll. Eine Versiegelung der Fässer in der Entnahmestation (unmittelbar nach dem Einfüllen der abgebrannten Brennelemente) hat darüber hinaus den Vorteil, dass diese Massnahme nicht ausschliesslich im Lager für abgebrannte

Elemente (also im Kraftwerk selbst) wirksam ist, sondern über den Transportsektor für das Weiterlager und das Eingangslager der Wiederaufarbeitungsanlage wirksam bleibt (Abb. 24).

Die Versiegelung der Kannen kann so vorgenommen werden, dass die Verschlussdeckel der Kannen mit einem verfälschungssicheren Kennzeichen versehen werden. Es wird vorgeschlagen, die Kannendeckel vor dem Einsetzen in das Deckelmagazin der Schließstation des Kugelentnahmeraums (Punkt 3.3) entsprechend zu präparieren und die Zuordnung Kanne-Deckel nach dem Verschliessvorgang in einem Protokoll festzuhalten. Es ist nicht möglich, einen einmal benutzten Deckel, der sich beim Einpressen in einer bestimmten Weise verformt, nochmals zu verwenden. Es ist darüber hinaus technisch möglich, eine zusätzliche Massnahme zur Überprüfung der Integrität vorzunehmen. Über diese Möglichkeit sowie über die verschiedenen Möglichkeiten der Überprüfung der Identität und Integrität der Kannensiegel im Lager für abgebrannte Elemente durch die Inspektoren der Überwachungsbehörde wird z.Z. intensiv mit dem Reaktorhersteller und dem Betreiber diskutiert.

Werden die beschriebenen Massnahmen der Bilanzierung sowie der "Räumlichen Eingrenzung" als flankierende Massnahmen Bestandteil des Überwachungssystems für den THTR, können die wesentlichen Systemteile des Kernkraftwerks, nämlich das Lager für frische Elemente, das Core und die Beschickungsanlage sowie das Lager für abgebrannte Brennelemente als sicher überwachbar im Sinne des Atomsperrvertrages angesehen werden.

Aus Plausibilitätsgründen ergeben sich bei dem bisher vorgeschlagenen und beschriebenen Kernmaterialüberwachungskonzept zwei Schwachstellen. Das sind die Zugabestation und die Entnahmestation, an denen Siegel zu entfernen bzw. neu zu setzen sind bzw. an denen die vorher (in Richtung des Kernmaterialflusses) existierenden Chargeneinheiten aufgelöst werden. Diese Stellen (schraffierte Positionen der Abb. 24) sollten deshalb mit Hilfe einer weiteren existierenden

"flankierenden Massnahme", die die internationale Kernmaterialsicherung kennt und praktiziert, nämlich durch Beobachtung (Surveillance) überwacht werden. An die Zugabestation wird bei Vollastbetrieb etwa alle 1 1/2 Tage ein Brennelementfass anzuflanschen bzw. in der Entnahmestation etwa alle drei Tage eine Kanne mit abgebrannten Brennelementen verfüllt sein. Die Intensität der notwendigen Manipulationen mit Fässern und Kannen ist demnach so gering, dass mit einer per Zufallsgenerator gesteuerten Kamera ausreichende Beobachtungsergebnisse erzielt werden können, wenn die Aufnahmezeiten und -häufigkeiten den Bewegungsintensitäten angepasst sind.

Werden auch die beschriebenen Surveillance-Massnahmen an den vorgeschlagenen Stellen Bestandteil des Kernmaterialsicherungssystems, sind die Schwachstellen eliminiert.

## 7. Zusammenfassung

Der Bericht gibt einen Überblick über die technischen Möglichkeiten der Sicherung des Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktors THTR-300 nach dem Nichtverbreitungsvertrag von Kernwaffen (NPT).

Die beschriebenen Verfahren sind lediglich Vorschläge für das notwendige Überwachungssystem dieser Anlage, das nach Vorlage der Design Information (DI) an die Überwachungsbehörden in den sogenannten Facility Attachments (FA) festgelegt wird.

Um die Behörden zu ertüchtigen, die FA für diese neuartige Reaktoranlage erstellen zu können, wurden in Punkt 2 und 3 die safeguardsrelevanten Kraftwerksdetails und deren Funktionsweise beschrieben. Mit den möglichen Safeguardsmassnahmen beschäftigen sich die Punkte 4, 5 und 6. Dabei steht die Materialbilanzierung (Punkt 4) im Mittelpunkt der Überlegungen, da sie einmal die Sicherungsmassnahme von grundlegender Bedeutung ist, zum anderen die kugelhaufenreaktor-spezifischen Besonderheiten in diesem Punkt besondere Aufmerksamkeit verlangen. Die möglichen und sinnvollen "Ergänzenden Massnahmen" werden in Punkt 6 behandelt.

Zusammengefasst sieht das Kernmaterialsicherungskonzept für den THTR-300 entsprechend der räumlichen Zuordnung des Kernmaterials neun "strategische Punkte", davon drei "Schlüsselmesspunkte" vor. Diese sind in Tabelle 2 aufgelistet. Entsprechend der Definition des Begriffs "Strategischer Punkt" gemäss Verifikationsabkommen erhält man bei der Prüfung von Anlagendaten im Verein mit den Informationen von der Gesamtheit der strategischen Punkte die für die Durchführung der Sicherungsmassnahmen notwendigen und hinreichenden Informationen. An den in Tabelle 2 aufgeführten Punkten können diese Informationen auch leicht nachgeprüft

werden. Erste Abschätzungen über den Inspektionsaufwand dieser Anlage gemäss den internationalen Safeguards-Richtlinien ergeben einen erheblich geringeren Wert als im Verifikationsabkommen für diese Anlagentypen zugebilligt wird (Artikel 80 des VA: 50 Inspektormanntage).

Das beschriebene Sicherungskonzept für den THTR-300 erfüllt demnach die an ein Safeguardssystem gestellten Anforderungen: Es liefert wirksam den Nachweis der Nichtabzweigung von Kernmaterial (Artikel 28, VA) bei einem wirtschaftlichen Einsatz der verfügbaren Inspektionsmittel (Artikel 78, VA) und einer vertretbaren Betriebsbeeinträchtigung (Artikel 5 a, 5b, VA).

Tabelle 1

RAUMNUMMERNVERZEICHNIS

Raum Nr.	Bezeichnung des Raumes
oo1	Treppenhaus
oo2	Personenaufzugschacht
o2o	Ausbauraum-BE-Auslassblock
o23	Kugelentnahmeraum
o28	Ausbau der Funktionsteile der BA
o34	Lastenaufzugschacht
o35	Treppenhaus
o74a	Lager für leere Kannen
o74	Lager für gebrauchte GE
o75	Lager für abgebrannte BE
o76	Übergaberaum für Aktivteile
o77	Montage-Vorraum
11o	BE-Einlaßschleuse und Luftgebläse
111	Schleusenflur zum SMR-Ausbauraum
116	Montageraum BE-Auslaßschleuse
121	Beschickungsraum für Kugelausschleuskanal
121a	Bruchabscheider-Raum
121b	Messreaktor-Raum
121c	Messreaktor-Ausbauraum
173	Grosse Materialzufahrt auf 6 m
174	BE-Lager-Schleuse
272	Auswerteraum
273	Messraum



276	Kranhalle über BE-Lager
307	Materialschleuse
308	Schleuse
309	Schleuse
350	Flur
351	Lager für neue BE
352	BE-Zugabe, neue BE
353	Lager für neue BE
354	Schleuse
708	Abschaltstab Ausbauraum

Tabelle 2

Strategische Punkte des Kernmaterial-Sicherungssystems des THTR-300

Lfd. Nr.	vorgesehene <sup>*</sup> Safeguards- Massnahme	örtliche <sup>**</sup> Zuordnung	im Bericht näher erläutert unter Punkt ...	Schlüssel- Messpunkt
1	Bilanzierung	Lager für frische BE Raum Nr.353	2.3 4	ja
2	Surveillance	Zugabestation Raum Nr. 352	2.3.2 2.4.1 und 6	nein
3	Bilanzierung	Reaktorcore/ Beschickungs- anlage Schaltwarte	4 und 5	ja
4	Containment	Reaktorcore Spannbeton- behälter	2.4.1 6.2	nein
5	Containment	Blöcke B1 u. B2 Raum Nr. 110	3.2 6	nein
6	Containment	Blöcke B3, B4, B5, B7 u. B8 Raum Nr. 028	3.2 6.2	nein
7	Containment	Block B6 Raum Nr. 020	3.2 6	nein
8	Surveillance	Entnahmeraum Raum Nr. 023	3.3 6.2	nein
9	Bilanzierung	Lager für abge- brannte Elemente Raum Nr. 075	2.5 4	ja

\* siehe auch Abb. 24

\*\* Raumnummernverzeichnis siehe Tab. 1



ABB:1 KUGELFLUSS IM THTR

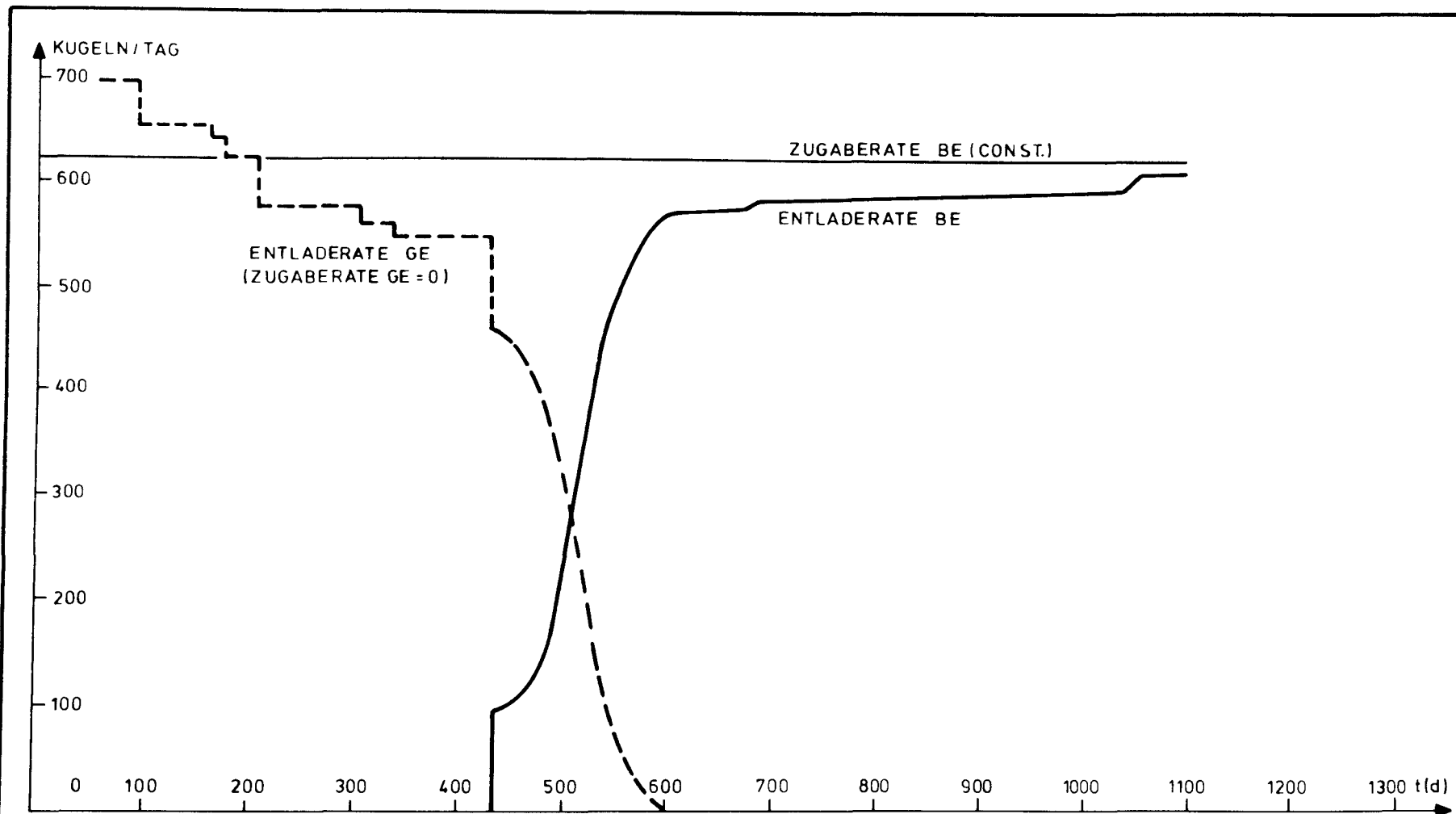
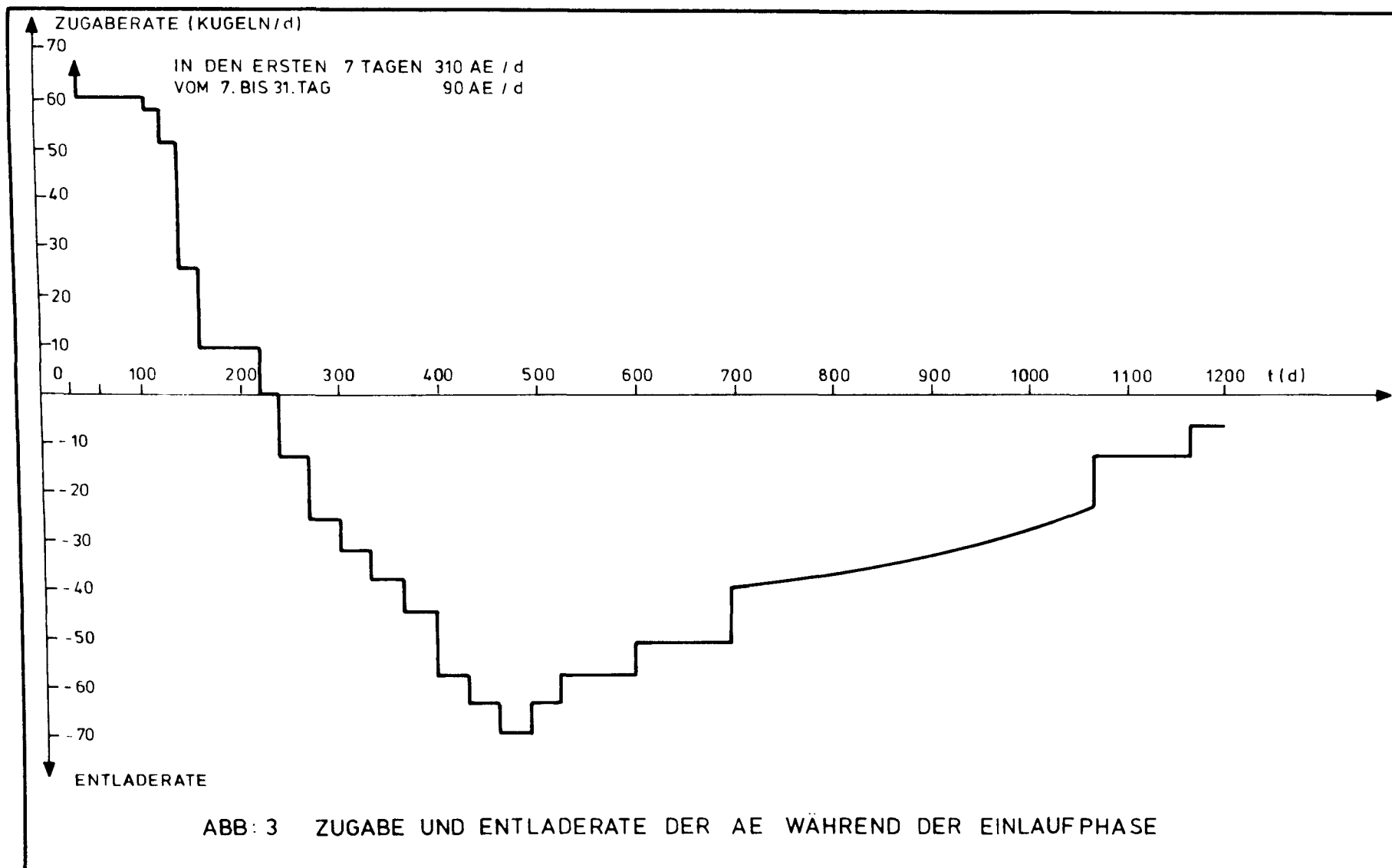
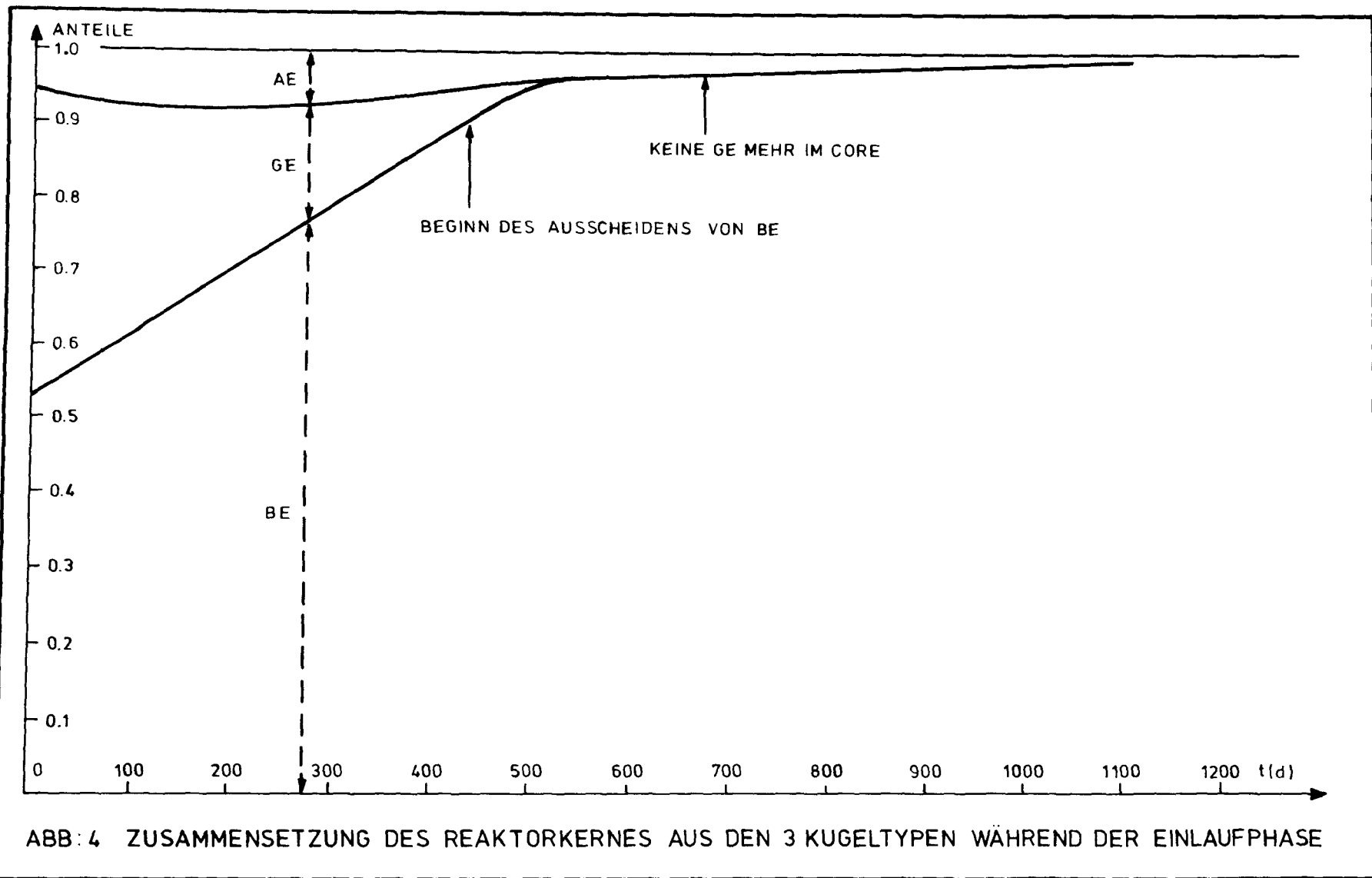


ABB:2 ZUGABE- UND ENTNAHMERATEN DER BE UND GE WÄHREND DER EINLAUFPHASE





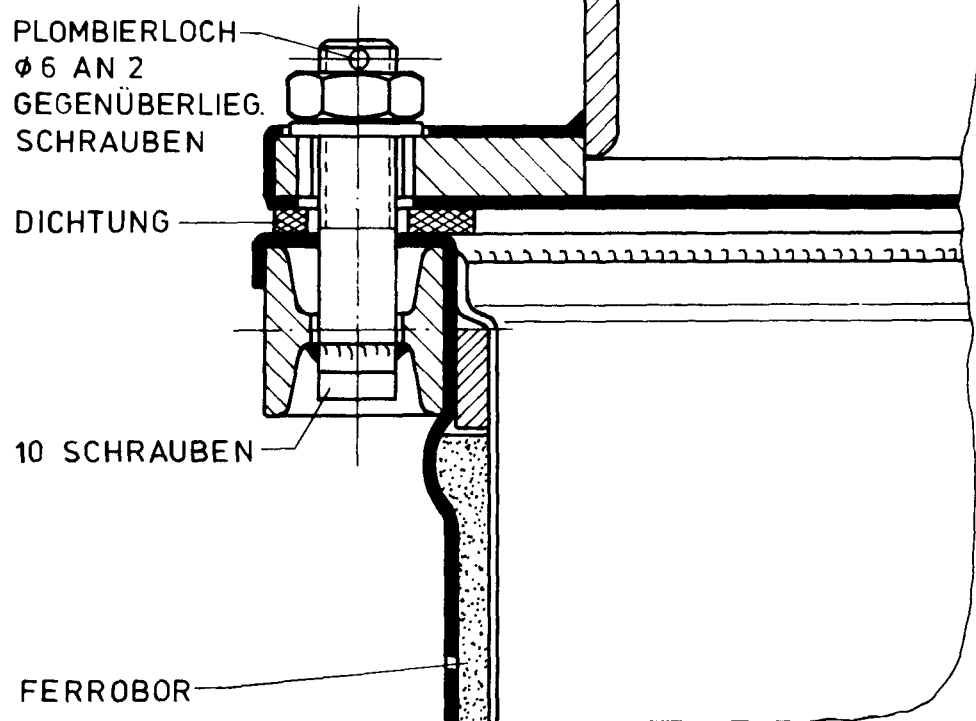


ABB: 5 FLANSCH/DECKEL FÜR BRENNELEMENT-FASS

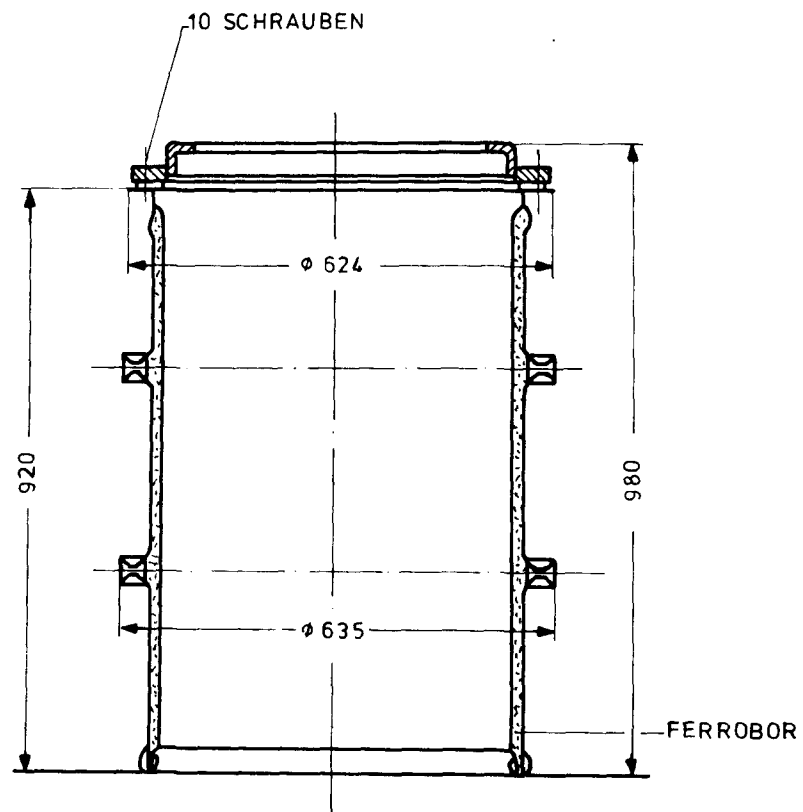
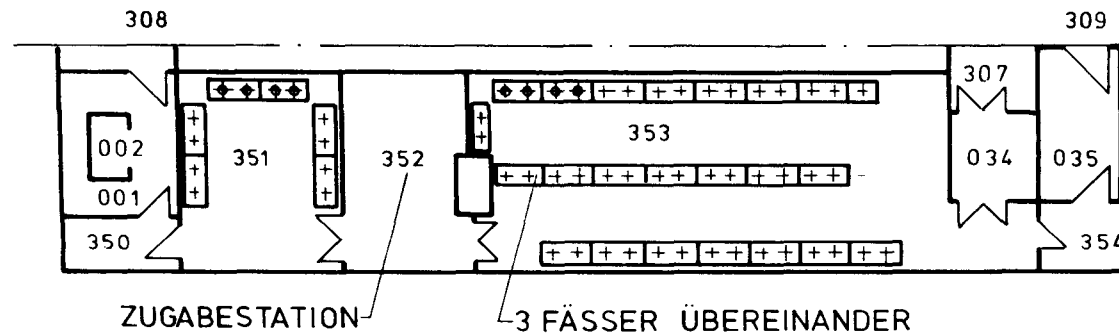


ABB: 5a BRENNLEMENT-FASS





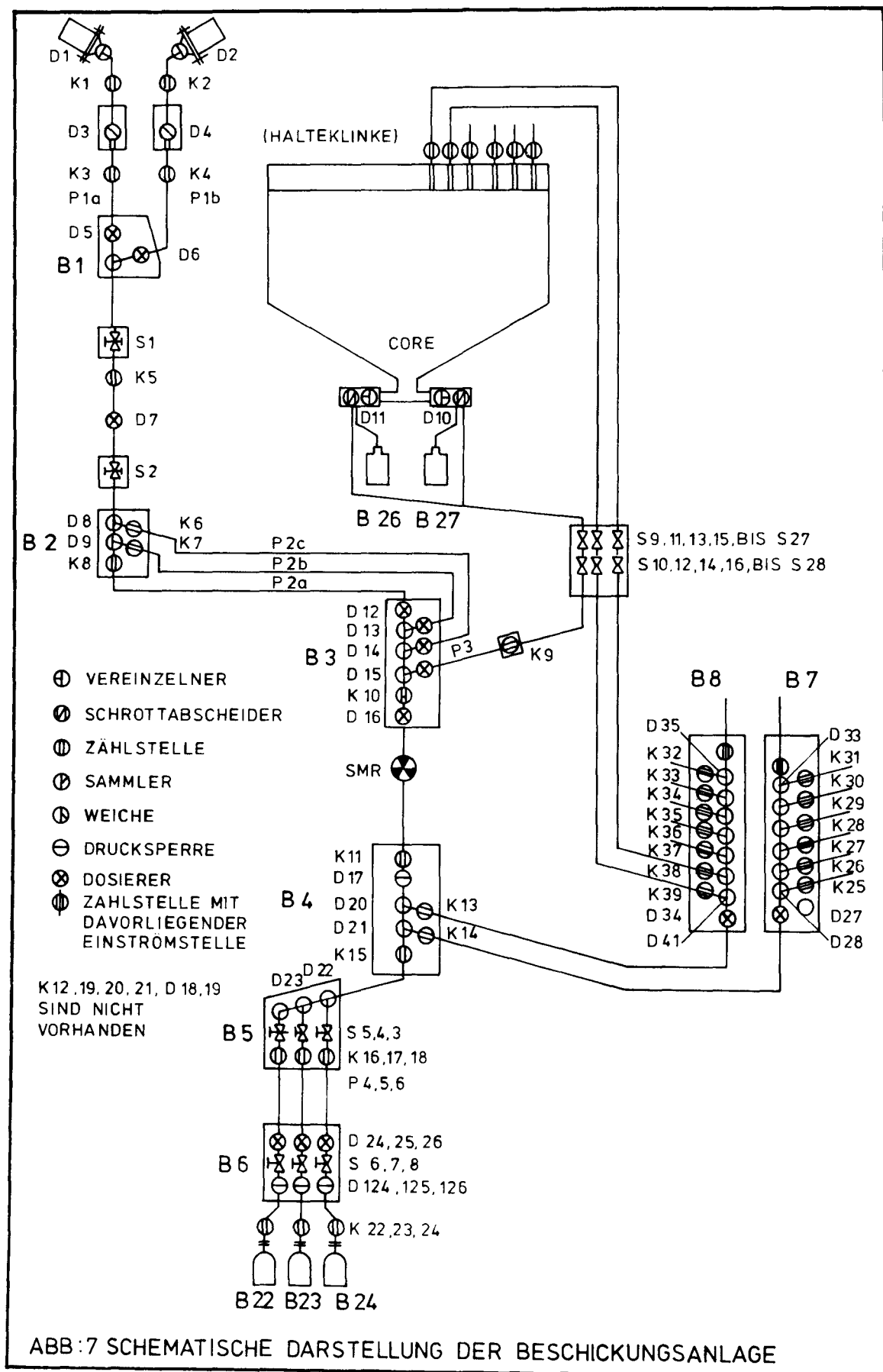
LAGERKAPAZITÄT:

RAUM-NR. 351 36 FÄSSER

" " 353 135 FÄSSER

RAUM-NR. ERKLÄRUNG SIEHE RAUMLISTE TAB. 1

ABB: 6 LAGER FÜR FRISCHE BE



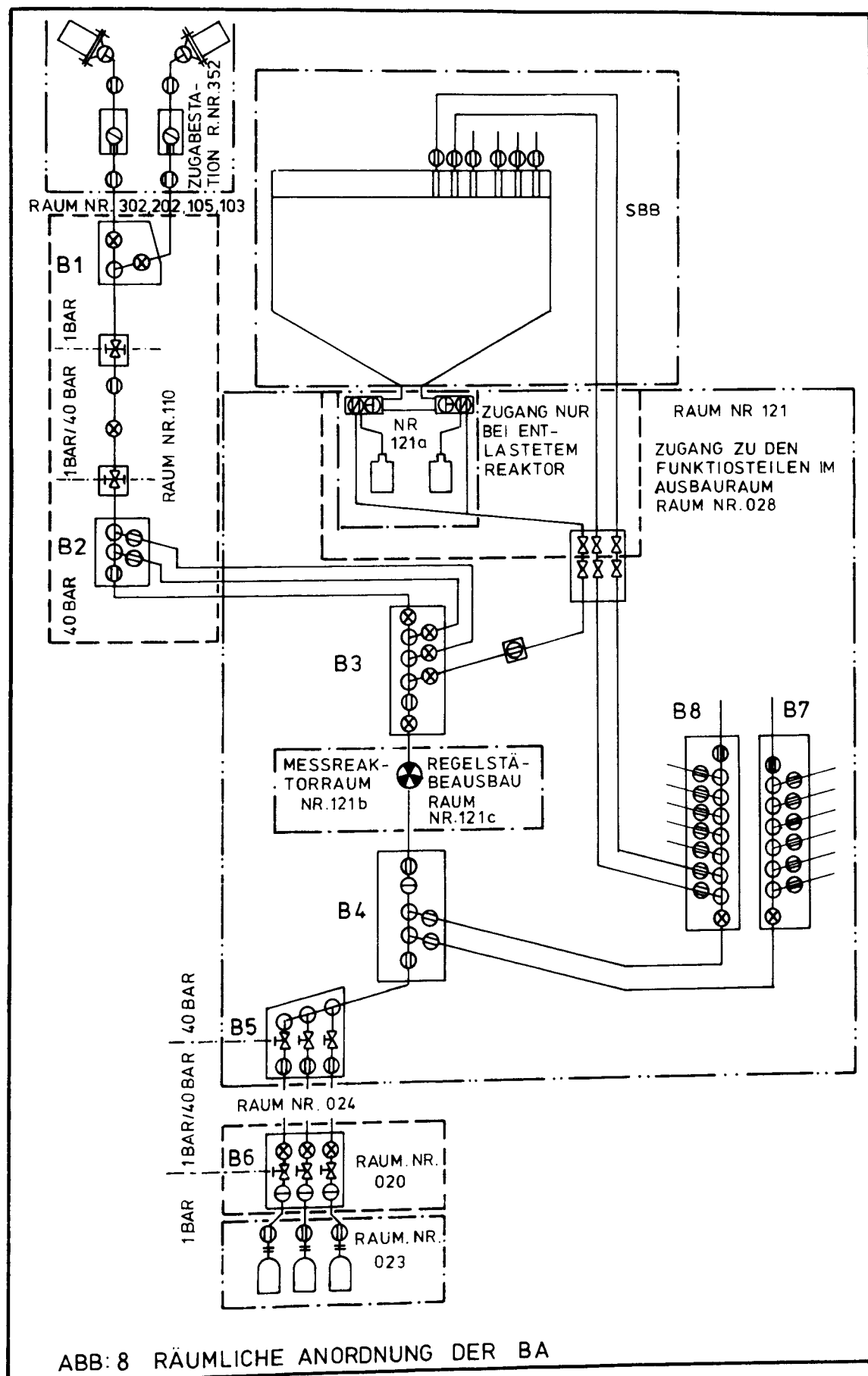


ABB: 8 RÄUMLICHE ANORDNUNG DER BA

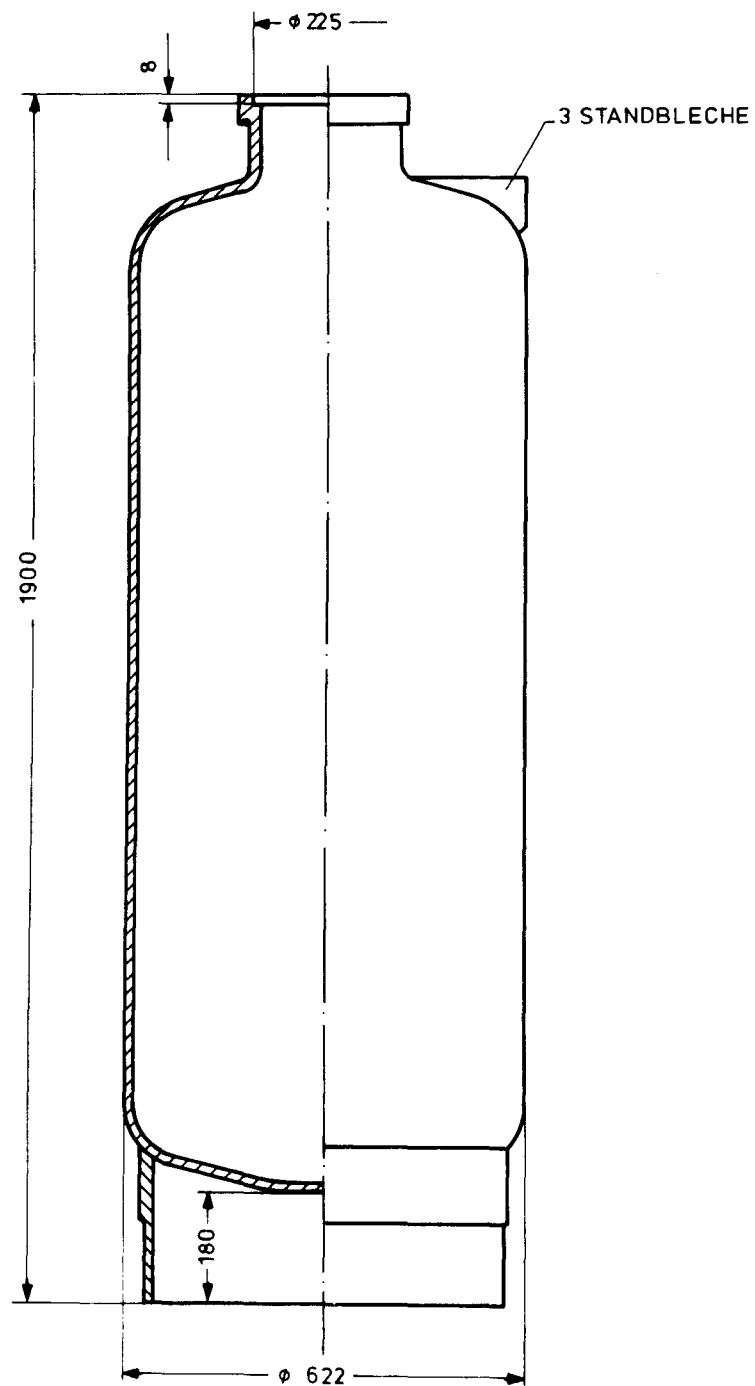


ABB: 9 ENTNAHMEKANNE

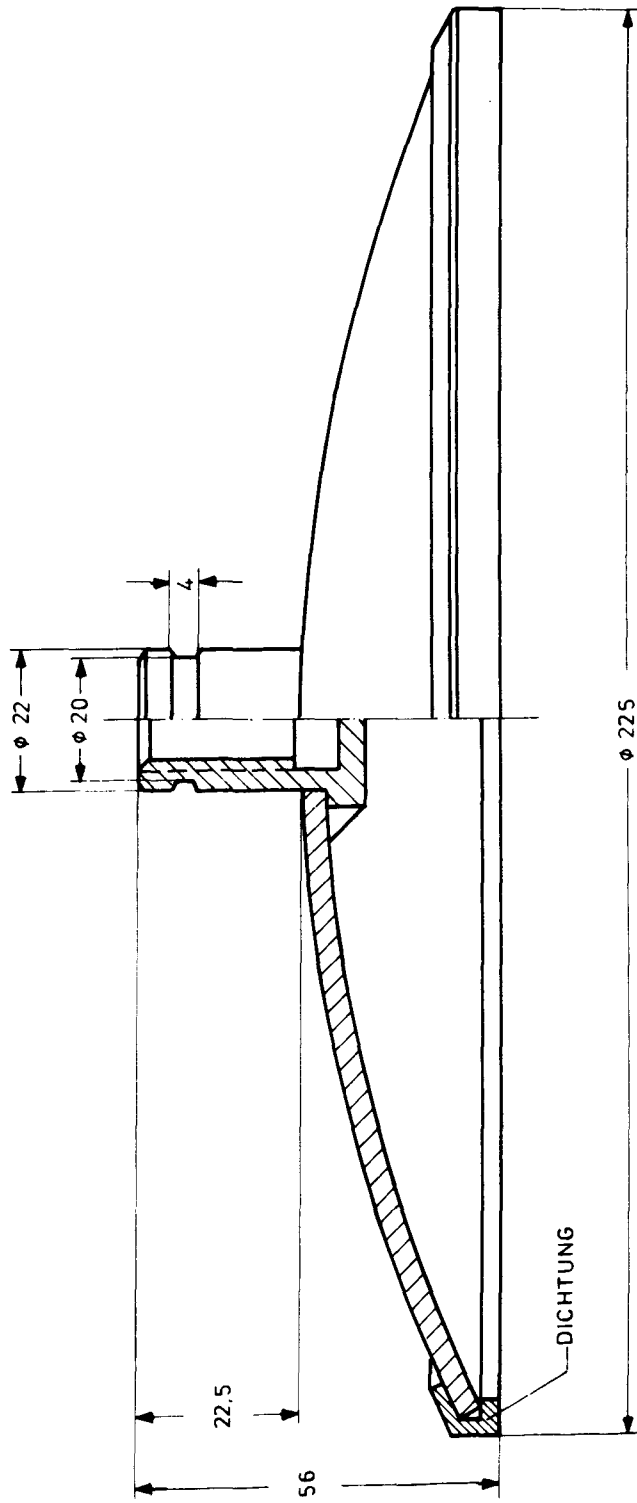


ABB:10 VERSCHLUSSECKEL FÜR ENTNAHMEKASSE

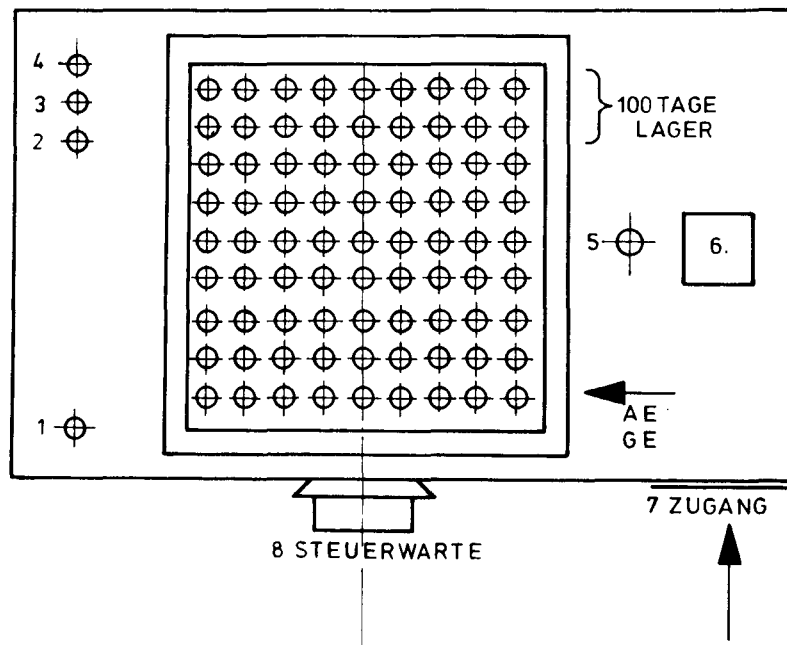


ABB: 11 LAGER FÜR ABGEBRANNT BE

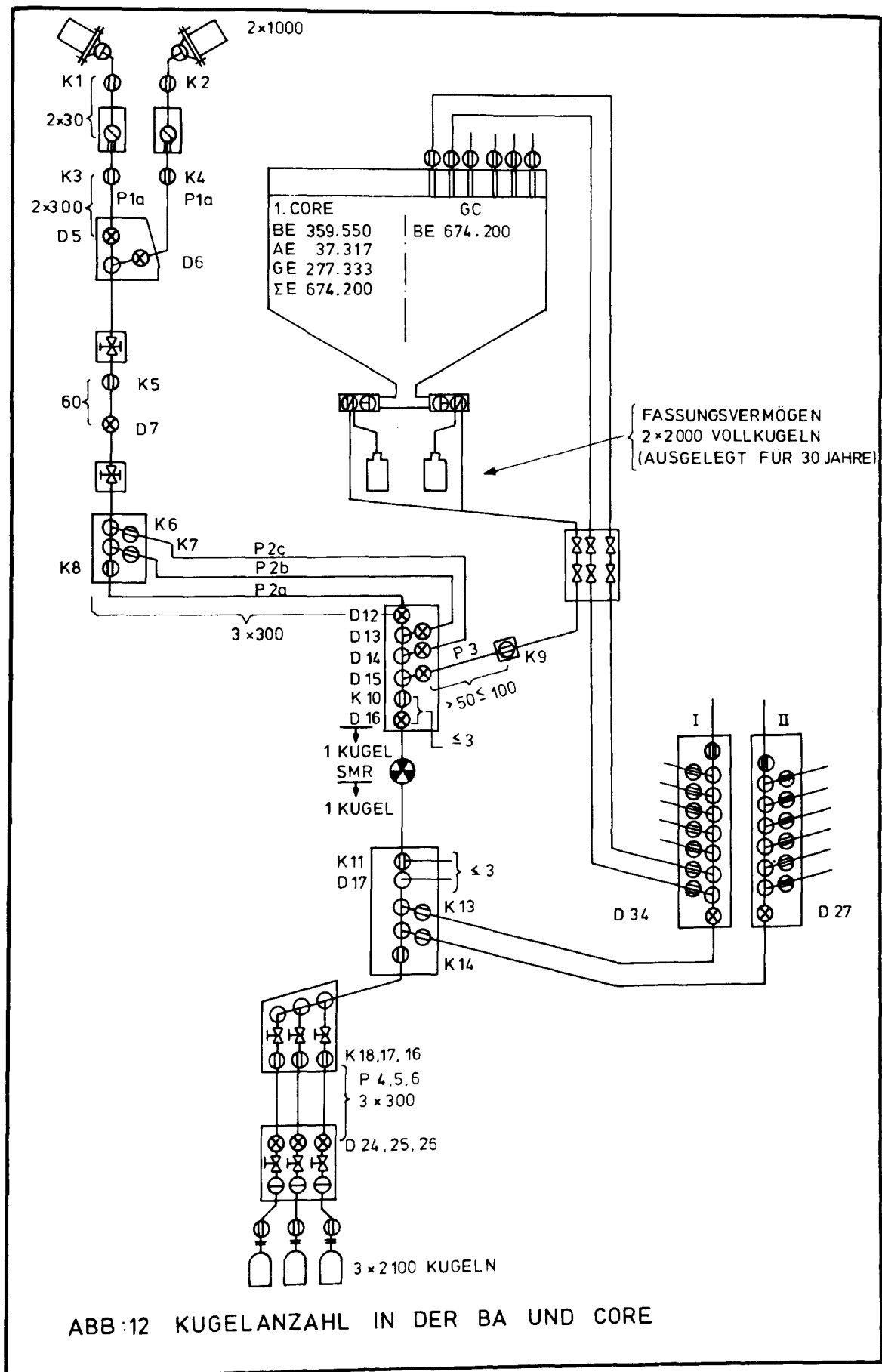
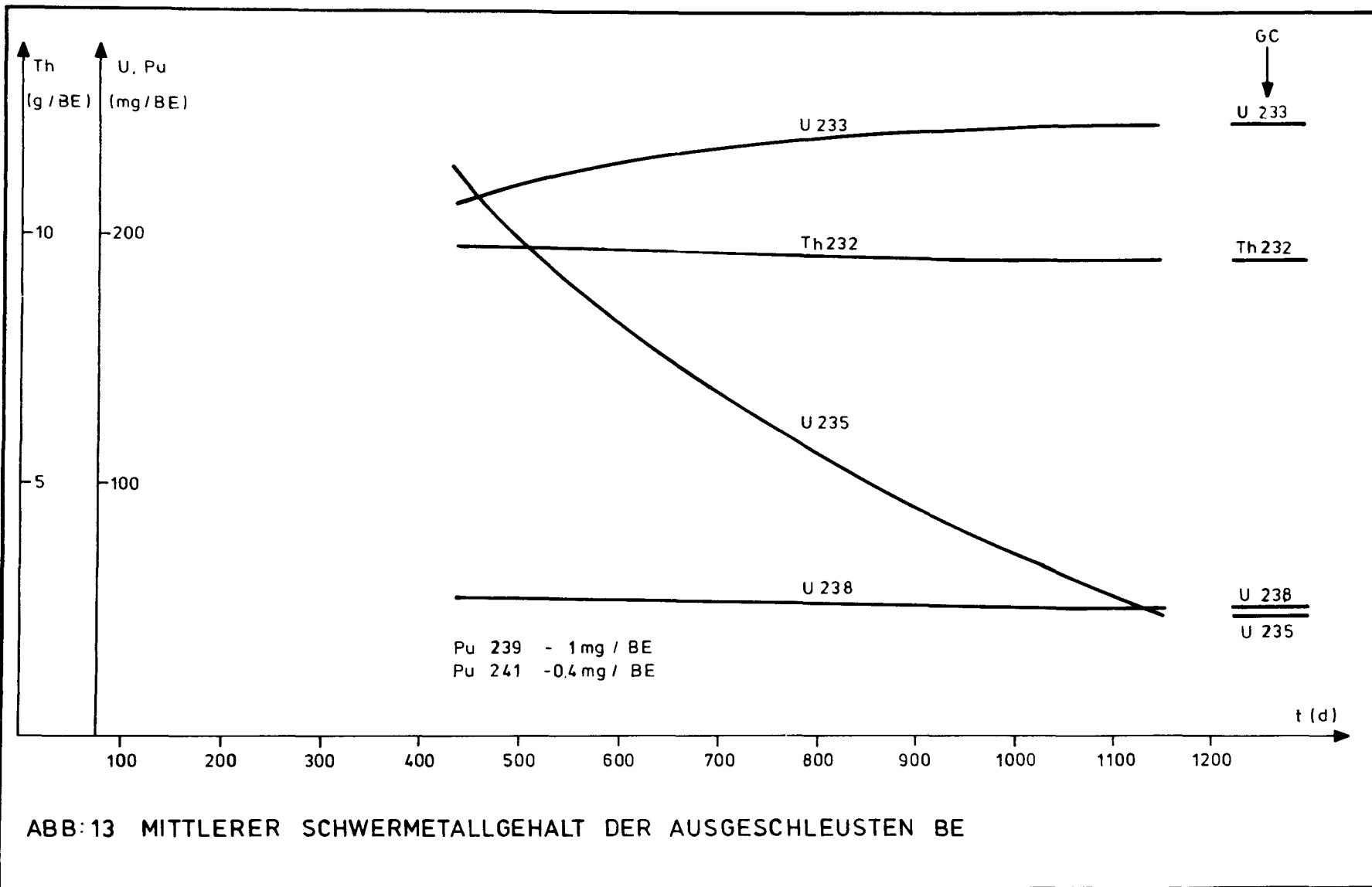


ABB:12 KUGELANZAHL IN DER BA UND CORE





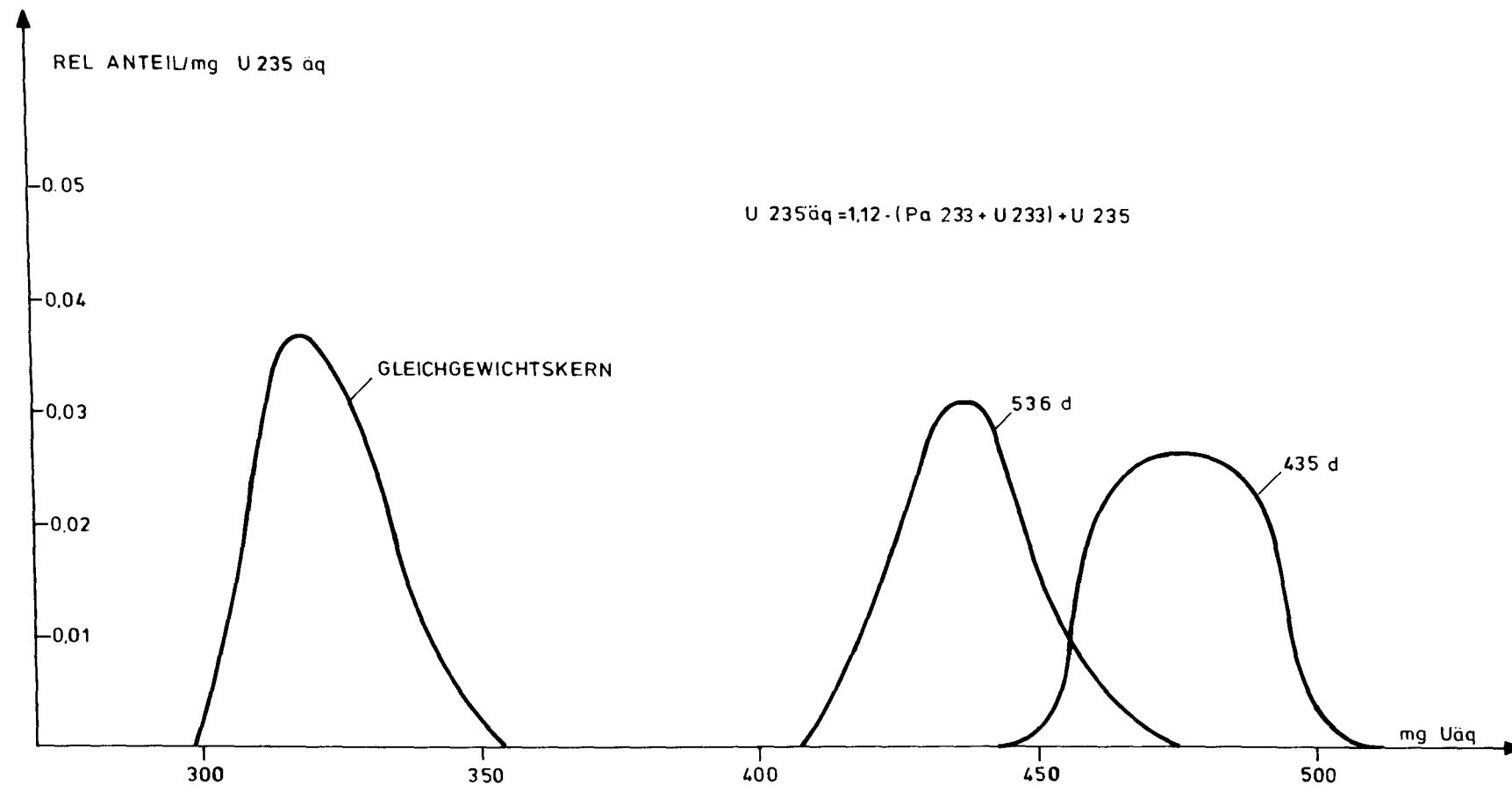


ABB: 14 U 235 äq - VERTEILUNG DER AUSGESCHLEUSTEN BE

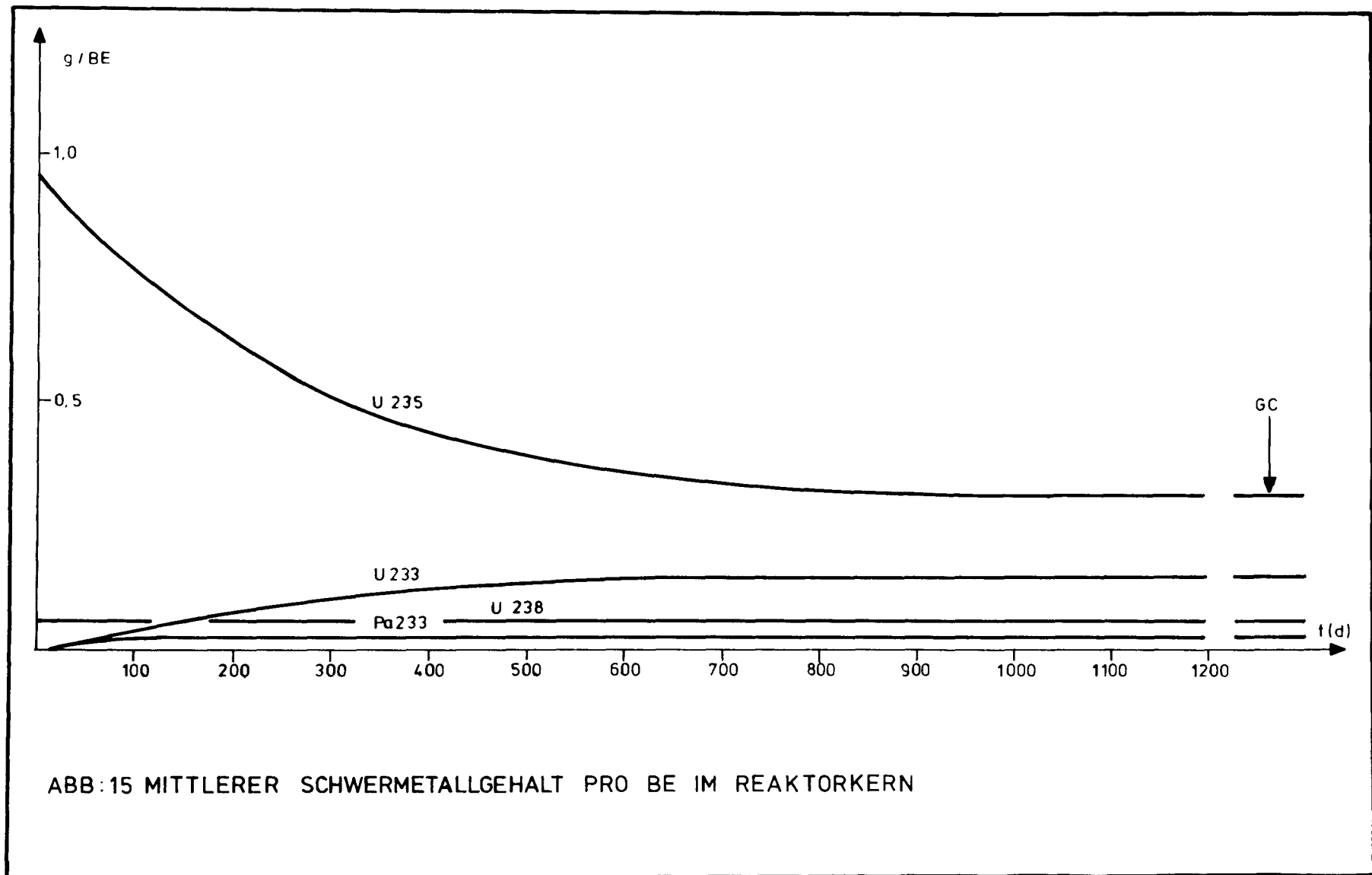
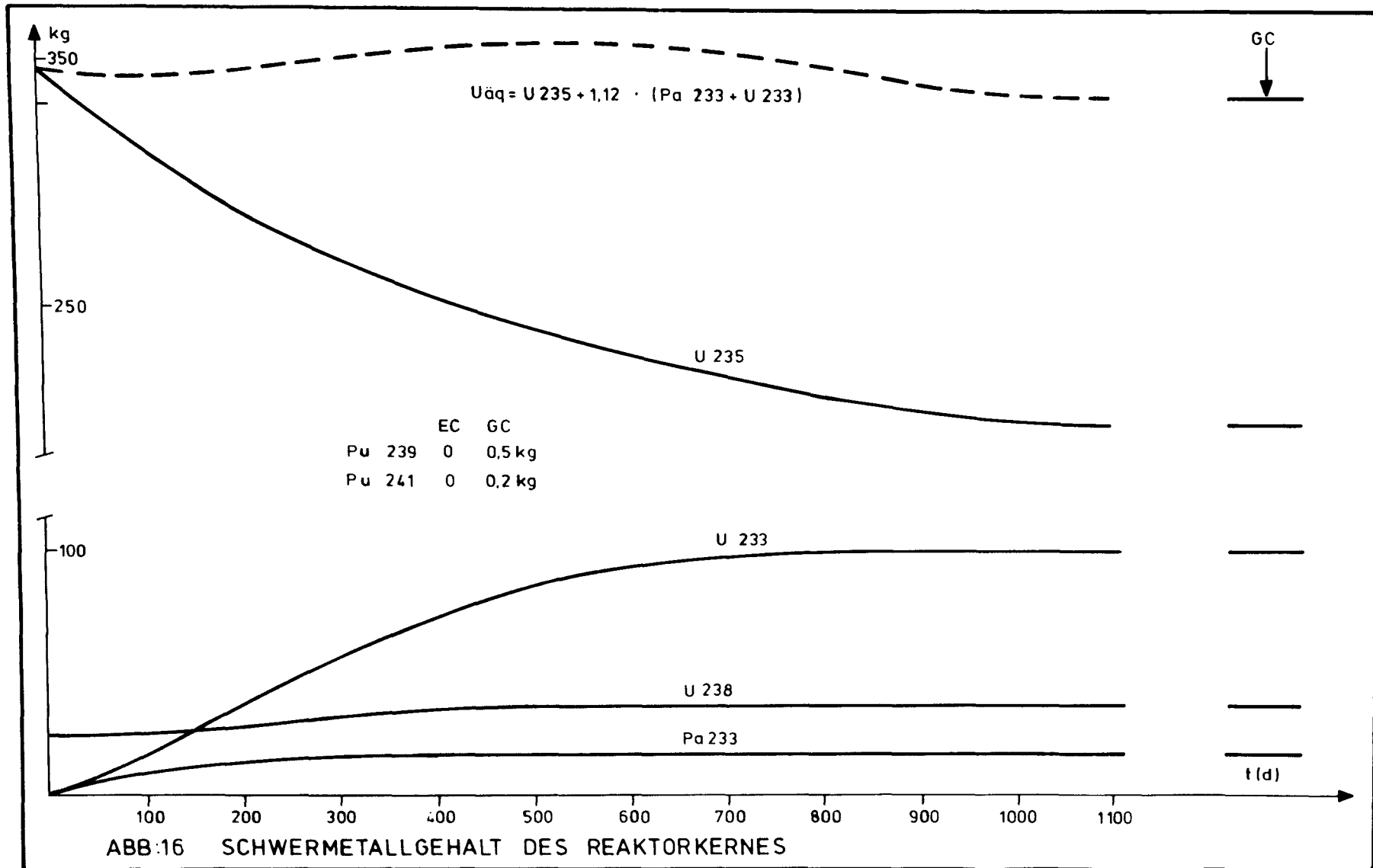
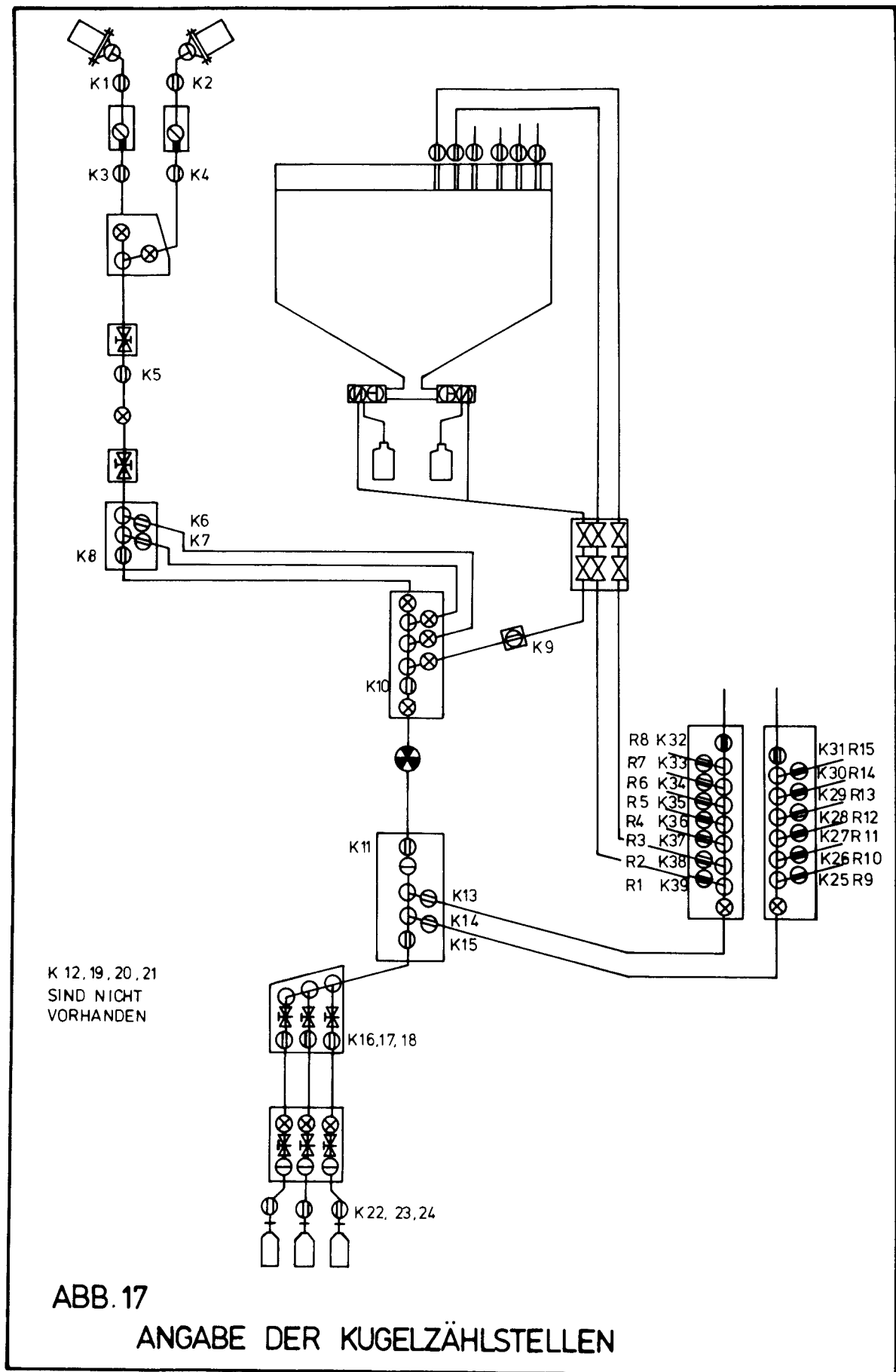
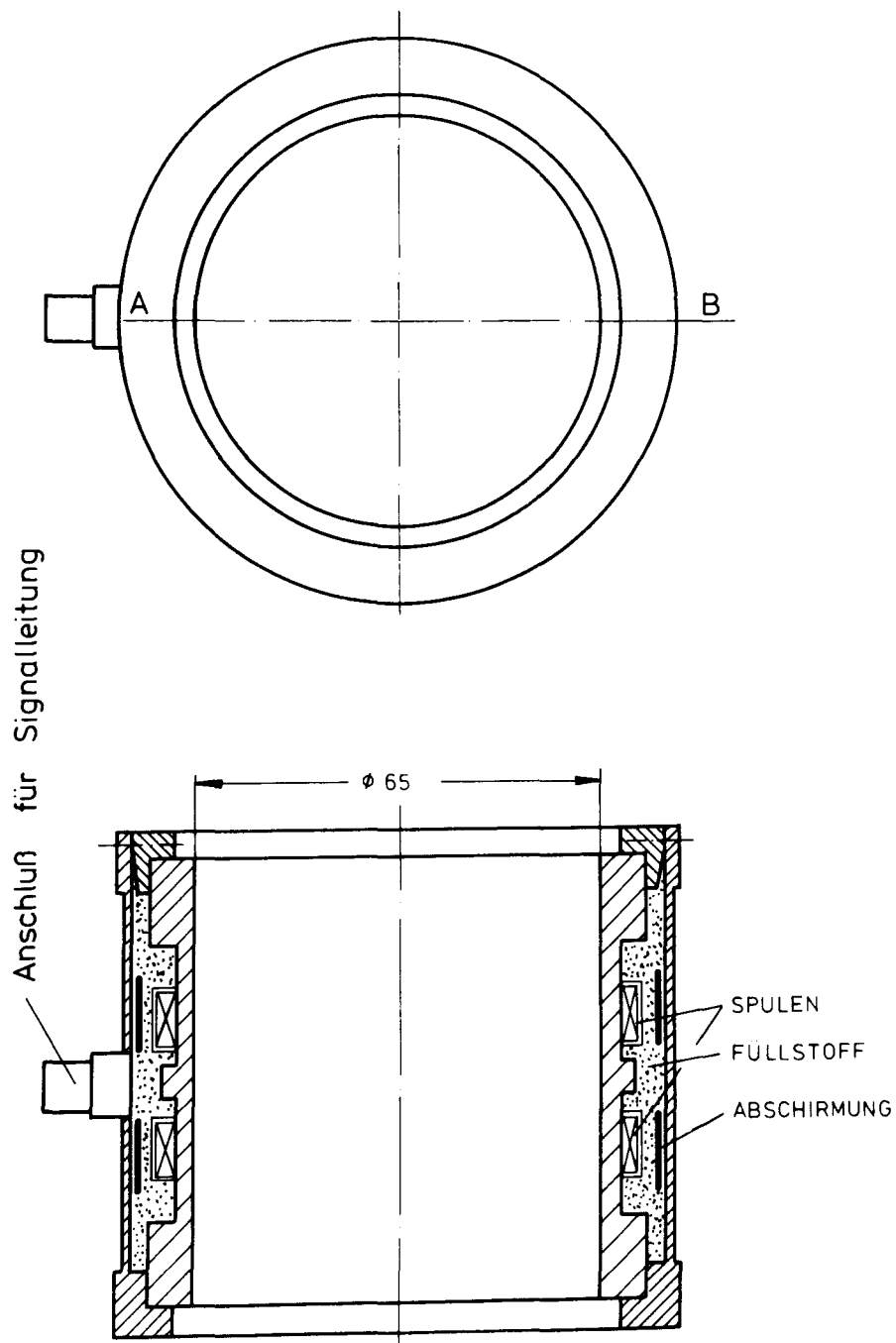


ABB:15 MITTLERER SCHWERMETALLGEHALT PRO BE IM REAKTORKERN



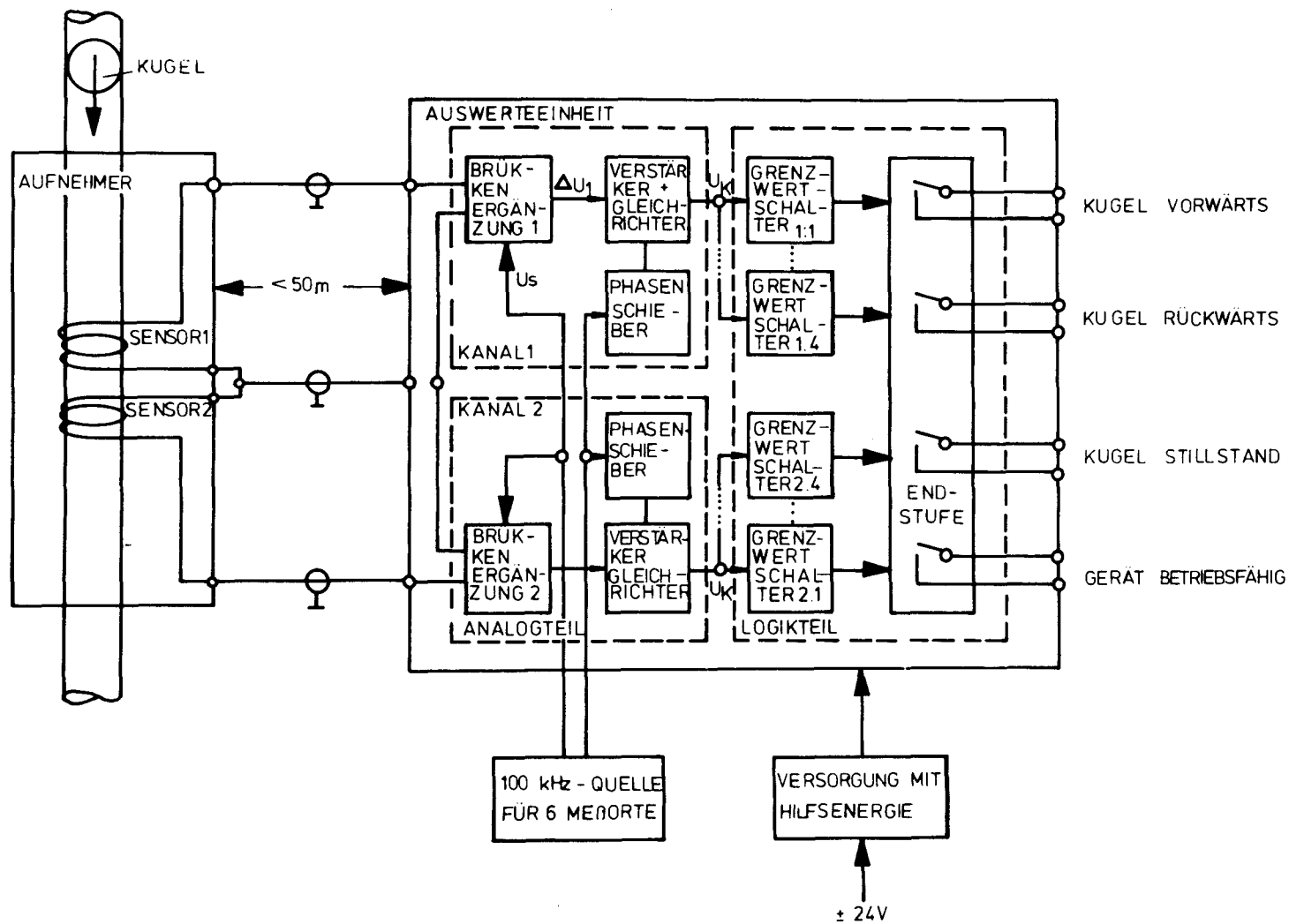




SCHNITT A - B

ABB. 18 BRÜCKEN - KUGELFÜHLER

ABB. 19 AUSWERTER FÜR BRÜCKEN - KUGELFÜHLER



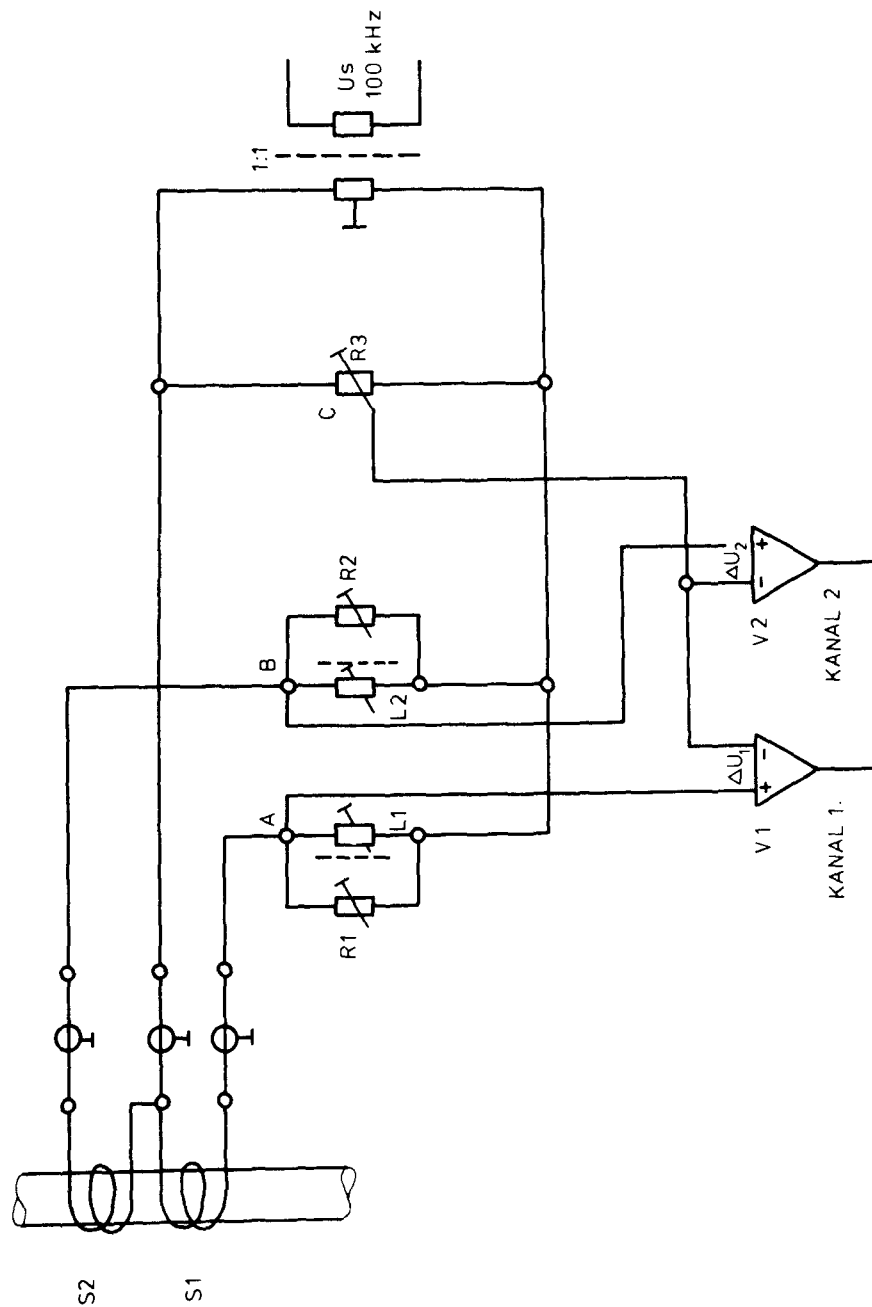
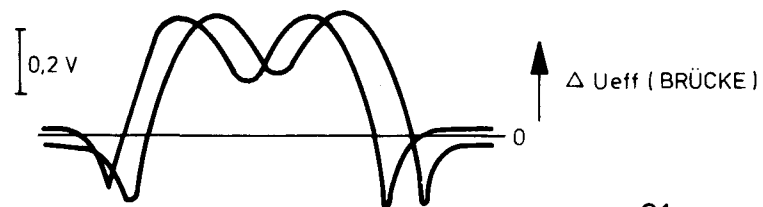
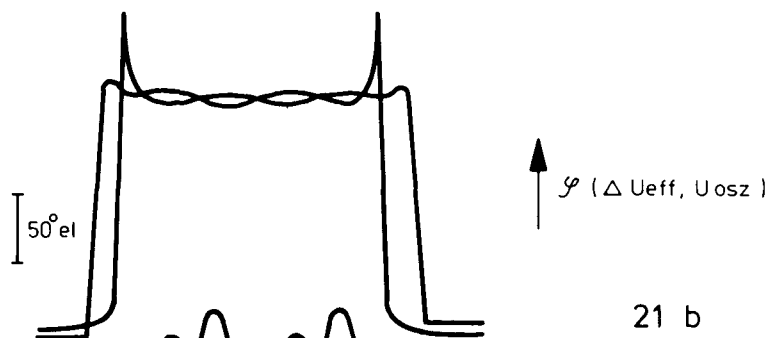


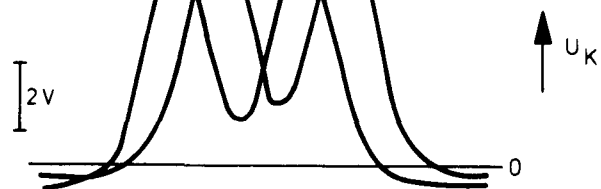
ABB. 20 SCHALTUNG DER MESSBRÜCKE DES BRÜCKENKUGELFÜHLERS



21 a



21 b



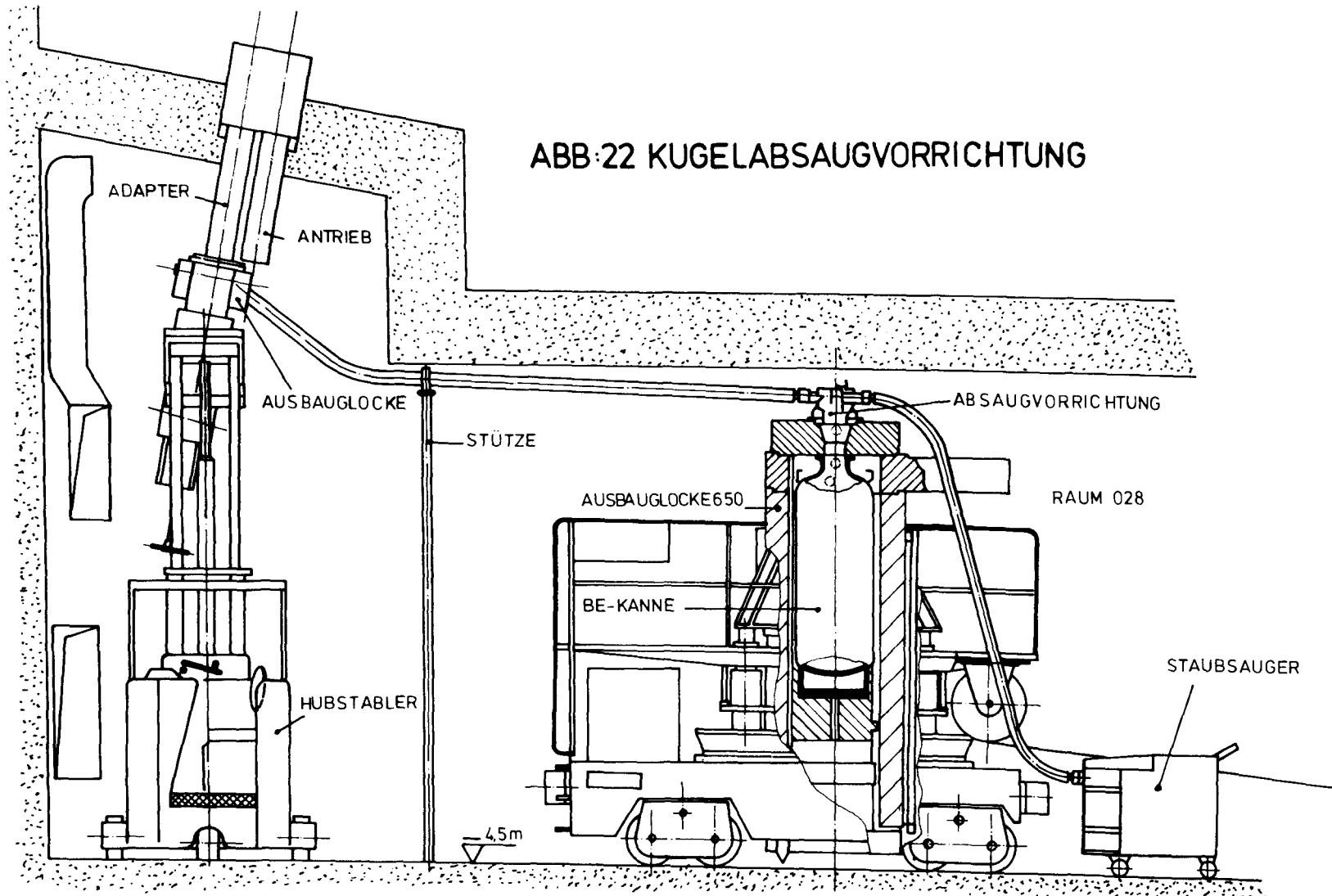
21 c

  
 LAGE DER KUGEL ZUM SENSOR

ABB: 21 UMFORMUNG DES BRÜCKENSIGNALS IN  
BEIDEN KANÄLEN DES BRÜCKENKUGELFÜHLERS  
BEIM DURCHLAUF ZWEIER KUGELN



## ABB 22 KUGELABSAUGVORRICHTUNG



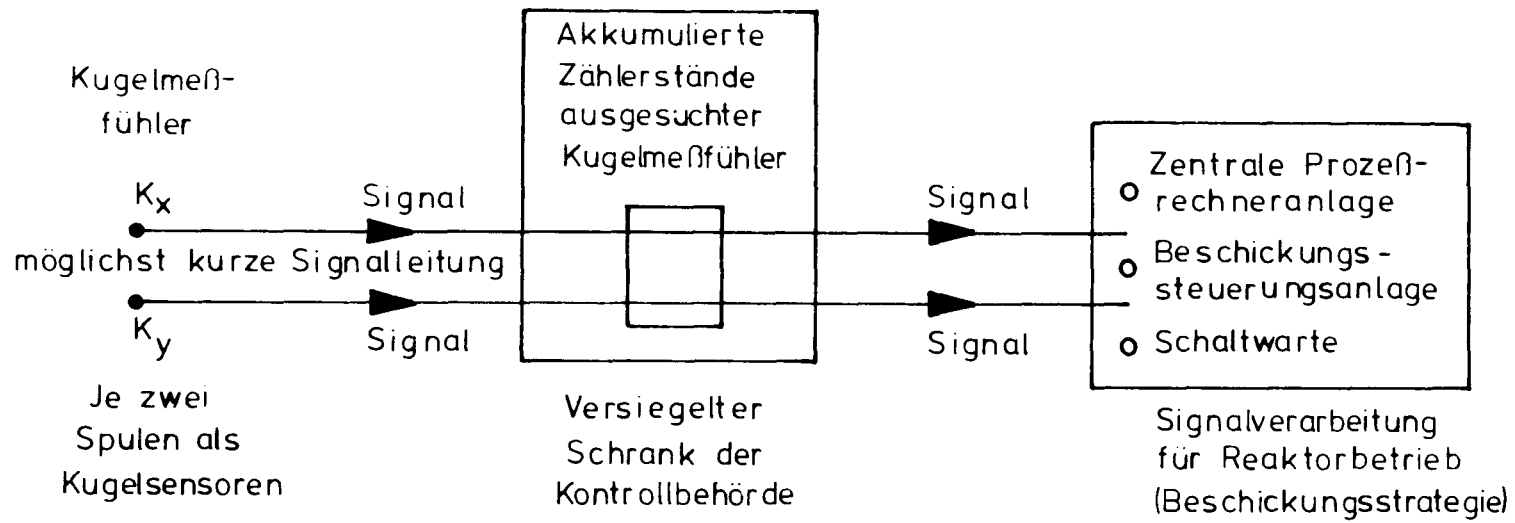


Abb. 23 Signalverarbeitung der Kugelfühlersignale

